منظمة المجتمع العلمي العربي

الدكتور المهندس حسين عزيز صالح



تقنيات الذكاء الاصطناعي والجيومعلوماتية لإدارة وتخفيف خطر الكوارث

تقنيات الذكاء الاصطناعي
والجيومعلوماتية لإدارة
وتخفيف خطر الكوارث

منظمة المجتمع العلمي العربي

الدكتور المهندس حسين عزيز صالح

تقنيات الذكاء الاصطناعي والجيومعلوماتية لإدارة وتخفيف خطر الكوارث

مراجعة

هيثم غالب الناهي

RABBAN Publishing Ltd. دار الربان للنشر
Arab Scientific Community Organization منظمة المجتمع العلمي العربي

العنوان بالإنكليزية

Artificial Intelligince

and Geoinformation Technologies for Disaster Risk Reduction and Management

Dr. Eng. Hussain Aziz SALEH

الطبعة الأولى

تاريخ النشر 20 أيلول/سبتمبر 2016

تم إيداع الكتاب بالترقيم الدولي

ISBN : 978- 0-9935464-1-9

المحتويات

الإهداء

إلى كل من يسعى ويعمل ويتفانى في تخفيف آلام الناس



الدكتور المهندس حسين عزيز صالح حاصل على إجازة في الهندسة المدنية من جامعة تشرين – سورية (1987) وعمل حتى 1993 في مشاريع ومؤسسات وزارة الإسكان والمرافق. تابع دراسته الآكاديمية في الجامعات البريطانية فحصل على الماجستير في الهندسة الطبوغرافية (1996) والدكتوراه في الهندسة الجيوماتيكية (2000). حاز على جائزة المجتمع الأوروبي الإنسانية للأبحاث العلمية ماري كوري التي تمنح للمرة الأولى لباحث من خارج دول الاتحاد الأوروبي (2001). ومنح جائزة أفضل بحث في مؤتمر ماري كوري السنوي على تطبيقات خوارزميات الذكاء الاصطناعي في إيجاد التصميم المثالي للشبكات الجيوماتيكية الداعمة لإدارة الكوارث (2002). أتم مرحلة مابعد الدكتوراه من جامعة بروكسل (2003)، وحصل بامتياز على ماجستير في إدارة المشاريع والأعمال التكنولوجية من جامعة غنيت – بلجيكا (2004). فاز بجائزة مسابقة جاليليو الأوروبية للملاحة بواسطة الأقمار الصناعية لعام 2013 في ميونخ – ألمانيا. ترتكز معظم أبحاثه على استخدام تقنيات الجيومعلوماتية والذكاء

الاصطناعي وتطويرها وتطبيقها في نمذجة مشكلات الحياة العملية كالإدارة المثلى للموارد المائية وإدارة خطر الكوارث وعلاقتها بالتنمية المستدامة المبنية على التخطيط الإقليمي والعمراني والبيئي، إلخ. له أكثر من مئة ورقة بحثية في مجال عمله البحثي منشورة في مجلات عالمية محمكة وفي كتب مؤتمرات وندوات وورشات عمل. يشغل حالياً منصب المعاون العلمي للمدير العام للهيئة العليا للبحث العلمي ورئيس قسم الأبحاث العلمية (مدير بحوث) في سورية. مازال يتابع أبحاثه في مركز التخطيط والتنمية المستدامة، جامعة غنيت، بلجيكا.

الملخص

تُمثل الكوارث وما ينتج عنها من أخطار بيئية وطبيعية أحداثاً مفجعة تصيب مناطق مختلفة من العالم وإن عدم الإلمام بخصائص الكوارث وأسبابها من الأمور التي تتسبب في تفاقم آثارها واتساع رقعتها وأبعادها التدميرية وخاصة في الدول العربية التي تمتلك كل الإمكانات الاقتصادية والخبرات الفردية ومراكز الأبحاث العلمية ومع ذلك تظل عاجزة أمام أي حدث استثنائي تتعرض له. فاليابان لا تملك غير العقل والبحث وتعتبر أكثر دول العالم استعداداً لمواجهة أي أخطار وكوارث محتملة وخاصة التي يكثر حدوثها. فللكوارث آثار سلبية اجتماعية واقتصادية ونفسية وديموغرافية على الأفراد والمجتمعات حيث ارتفعت كلفة الخسائر الناجمة عن هذه الكوارث (وفقاً لإحصائيات الأمم المتحدة) في السنوات الخمس والثلاثين الأخيرة من 50 إلى أكثر من 400 بليون دولار أمريكي. تتعامل معظم المراكز البحثية والمؤسسات العلمية المختصة في مجال إدارة الكوارث مع خطر الكوارث والتأثيرات الناجمة عنها باستخدام الطرق التقليدية غير المواكبة للتقدم العلمي والتكنولوجي والتي تتطلب زمناً طويلاً لمعالجة وتحليل البيانات الخاصة بهذه الكوارث (مثل الزلازل، الفيضانات، البراكين، تلوث الهواء والماء والتربة، إلخ). لذا فإنه من الضروري جداً البحث عن طرق متطورة وأساليب عملية وسريعة لسد الفجوات الكثيرة والكبيرة في

عدم فهم معرفة الطبيعة المتغيرة لهذه الكوارث. تستطيع هذه الطرق المتطورة إيجاد الحلول المثالية التي تؤمن الدراسة التحليلية العلمية والعملية لأسباب وتحولات هذه الكوارث قبل وخلال وبعد وقوعها بغية فهم تأثيرها وأبعادها وكيفية التجاوب بشكل أفضل مع آثارها الجسيمة ومن ثم تقديم المساعدات اللازمة لعمليات الإغاثة والطوارئ. يتضمن الحل المثالي لمراقبة الكارثة وتخفيف خطرها تشكيل التصميم الفعال لمنظومة الإنذار المبكر التي تغطي المنطقة الجغرافية للكارثة من خلال: التأمين السريع للمعلومات الضرورية، وتسهيل عملية الاتصالات والحركة، وتوفير المراقبة الدقيقة للظروف المتغيرة المواكبة لهذه الكوارث وضبط تحولاتها وتأثيراتها، إلخ. هنا يتم عرض عملية التصميم المثالي لهذه المنظومة بأسلوب علمي مبرمج باستخدام خوارزمية مجموعة النمل المبنية على مبادئ الذكاء الاصطناعي.

تشير أدبيات إدارة الكوارث في القرن الواحد والعشرين إلى غياب مخزون معرفي ومناهج بحثية ومعايير منطقية وتقنيات متطورة يمكن استخدامها في المقارنات وقياس الأداء للكوارث وتحديد الفجوات المهارية والمعرفية، وخاصة في البلدان العربية التي تعاني من تدني في مستوى النمو التكنولوجي وضعف نشاطات البحث العلمي والتطوير التقاني في مجال إدارة الكوارث. ترتكز المعالجة المثالية لإدارة الكوارث على كل من مجتمعي المعلومات والمعرفة ودور الآليات المتطورة كالمقارنات التطويريه الإلكترونية للأداء بالأساليب الرقمية بحيث تساعد هذه المقارنات أصحاب القرار في إدارة الكارثة على الفهم الدقيق للعلاقات بين الأسباب والنتائج، والتمييز بين الأهداف الإستراتيجية والأهداف الفرعية وقياس وتحليل الفجوة في الأداء بين النموذج المثالي والأداء المحلي للكارثة، إلخ. تشمل آليات المعرفة في إدارة الكوارث مبادئ وأساليب متعددة ومتنوعة مبنية على البحث العلمي كمبدأ التجربة والخطأ، ومبدأ ردود الفعل، ومبدأ المحاكاة والنمذجة، إلخ. أيضاً تعتمد هذه الآليات على مقياس محدد للأداء بمعايير مبنية على منهج إلكتروني لاختبار أسلوب معالجة الكوارث وتحديد مجالات التحسينات والتطويرات. يتمثل مجتمع المعلومات بثورة الإنترنت التي توفر معلومات عن الكوارث في أي مكان وزمان من خلال تأمين قاعدة بيانات مركزية عن كافة أنواع الكوارث والخبراء والعاملين في مجالها، إلخ. في حين يتمثل دور مجتمع المعرفة بالتطور الإلكتروني في الإنذار المبكر

وتكنولوجيا المعلومات من خلال بناء وتحديث قواعد البيانات، والخدمات الفورية، وتكوين نظام معلومات الكوارث، وإنشاء موقع على الإنترنت لتبادل المعلومات، واستخدام البريد الإلكتروني والاتصالات الفورية والشبكات المحلية للمعلومات في دعم القرارات وإجراء التحسينات المستمرة في معالجة الكوارث والتنبؤات والنماذج والمؤشرات، إلخ. يؤكد هذا البحث على أهمية وضرورة اعتماد منظومة البحث العلمي والتطوير التقاني في إدارة الكوارث ومواجهتها وتخفيف آثارها.

تُعد الخوارزميات المبنية على مبادئ ومفاهيم الذكاء الاصطناعي الأكثر استخداماً في إيجاد الحلول المثالية لمشكلات متعددة في مجالات متنوعة وواسعة في الحياة العملية كعلوم الإدارة والإحصاء وكافة المجالات الهندسية والمعلوماتية. تتصف هذه الخوارزميات بقدرتها على ابتداع طرق ديناميكية ملائمة لطبيعة المسألة المراد دراستها وتحديد الصيغة العملية لإيجاد الحل الأكثر مناسبة من بين مجموعة الحلول الممكنة لدراسة هذه المسألة ومن ثم تحسين قيمة هذا الحل إلى أقصى حدود الإمكانية. يُقصد بمفهوم التحسين وفق مبدأ الذكاء الاصطناعي (Optimization) إيجاد الحدود الدنيا لكلفة تصميم ما (Minimization)، أو الحدود العظمى للاستخدام الفعال لهذا التصميم (Maximization). في الهندسة الميكانيكية يهدف المهندس المصمم إلى إيجاد التصميم المثالي للسيارة آخذاً بعين الاعتبار جميع العوامل الهندسية والاقتصادية والفنية. فالمهندس الميكانيكي يهدف باستخدام التحسين إلى الحصول على تصميم سيارة نموذجية تتوفر فيها بآن واحد الحدود العظمى لعوامل الأمان والقوة والجاذبية والخفة، الخ (الحدود العظمى في هذه الحالة). في الهندسة الجيوماتيكية يهدف المهندس المصمم إلى إيجاد التصميم المثالي للشبكة الجيوماتيكية (التي تشكل أساس عمل منظومة الإنذار المبكر) آخذاً بعين الاعتبار كافة الشروط الفنية والهندسية والاقتصادية، إلخ. فالمهندس الجيوماتيكي يهدف باستخدام التحسين إلى الحصول على تصميم شبكة نموذجية بأسرع وقت وأقل كلفة ممكنين (الحدود الدنيا في هذه الحالة).

يعالج هذا الكتاب مسألة التنظيم العملي اللوجستي (Logistics) للمساحة الفضائية لنظام تحديد المواقع الجي بي اس Global Positioning System)

(GPS باستخدام الأقمار الصناعية. إن الطرق الهيروستيكية أو التقريبِّية (Heuristic techniques)، ضمن مجال البحث العملياتي (Operational Research OR) والذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence)، لمسائل التحسين التوافقي أو التجميعي الصعبة (Combinatorial Optimization Problems COPs) تم تطبيقها لتصميم شبكات الجي بي اس. إن هدف مسألة التحسين التوافقي البحث عن وتحديد الحل الأكثر مناسبة لتحسين (Optimizing) (تعظيم أو تصغير) (Minimizing or Maximizing) دالة الهدف (كلفة، دقة، زمن، مسافة، إلخ) من بين مجموعة منفصلة من الحلول الممكنة. يتكون تصميم شبكة الجي بي اس كمسألة تحسين تجميعية من مجموعة من البرامج الممكنة (Feasible Schedules) لتنظيم العمل الحقلي لرصد وتصميم الشبكة والهدف هو تحديد البرنامج الأقل كلفةً (Cheapest Schedule). بالنسبة لنظام الجي بي اس، يمكن تعريف الشبكة بأنها مجموعة من النقاط المساحية (Stations) التي يتم تعيين إحداثياتها بوضع أجهزة الاستقبال (Receivers) عليها لتحديد الأشعة أو القياسات الزمنية (Sessions) بين هذه النقاط. يُعرف الشعاع أو القياس بالفترة الزمنية أو مدة الرصد التي يحتاجها جهازي استقبال أو أكثر لتسجيل أو التقاط الإشارات المبثوثة بآن واحد من الأقمار الصناعية. إن العدد الأصغر اللازم لأجهزة الاستقبال اثنان، وتصبح مسألة تصميم الشبكة أكثر أهمية مع ازدياد هذا العدد.

في هذا الكتاب، تم بحث وتصميم وتطوير وتطبيق وتحليل نظرياً وعملياً طرق بحث جديدة مبنية على طرق تحسين تقريبية مبرمجة بلغة الحاسب الإلكتروني لحل المسالة المذكورة أعلاه بشكل فعَّال. تعرف هذه الطرق التقريبِّية، المبنية على أفكار من الذكاء الاصطناعي، بأنها أحدث الأساليب المطوَّرة والقوية والقابلة للتطبيق على طيف واسع من المسائل المهمة والتي تحدث مجالات علمية متنوعة كالإحصاء، الهندسة، البرمجة الرياضية، والبحث العملياتي. تبدأ الطريقة التقريبِّية باعتماد حل أولي (Initial Solution) (في سياق هذه الدراسة، برنامج أولي لتنظيم العمل الحقلي (Initial Schedule))، وتحاول بشكل تكراري تحسين البرنامج الحالي بتطبيق سلسلة من تغييرات التحسين المحلية (المبادلة بين الأشعة الزمنية) (Swapping Sessions) يتم إنتاجها تبعاً لآلية مناسبة ومحددة حتى تحقيق صيغة إيقاف العمل. إن خوارزميات الذكاء

الاصطناعي المطبَّقة: خوارزمية البحث المتقارب المحلي (Descent Local Search (LDS))، التلدين التجريبي ((Simulated Annealing (SA))، والبحث المحظور ((Tabu Search (TS))، والخوارزميات الجينية (Genetic Algorithms)، وخوارزمية منظومة النمل (Ant Colony System). تقبل طريقة البحث المتقارب المحلي فقط البرنامج الذي ينتج تخفيض في قيمة دالة الهدف. من الناحية الأخرى، تتضمن الخوارزميات الأخرى استراتيجيات تنفيذية وتنظيمية متنوعة مبنية على المتانة (Robustness) والنماذج الحاسوبية من أجل الحصول على برامج وحلول وتصاميم بجودة عالية وباسرع وقت حسابي. ضمن مجال الدراسات المرجعية للمساحة الفضائية والبحث العملياتي، تعتبر الدراسة المطبَّقة في هذا الكتاب أول محاولة من نوعها قد تم تنفيذها.

إن المساهمة الرئيسية لهذا الكتاب تطوير الطرق التقريبِّية المذكورة أعلاه من أجل حل المشكلات اللوجستية لمسألة تصميم الشبكة الجيوماتيكية المرصودة بنظام الجي بي اس. تم التحقق من أدائها تقييمها ومقارنتها على شبكات ذات برامج مثالية معروفة فيما يتعلق بجودة الجدول والجهد الحسابي. للمساعدة في التقييم، تم إجراء الاختبارات باستخدام نوعين مختلفين لشبكتين ذات أبعاد كبيرة مرصودتين في مالطا وجزر سيشيلز. بالنسبة لكلٍ من الشبكتين، أعطت طريقتا التلدين التجريبي والبحث المحظور المطوَّرتان براًمج عالية الجودة من تلك التي تم رصدها في الواقع. بالنسبة للمهندس الجيوماتيكي الذي يستخدم نظام الجي بي اس، قد تبيِّن أن هذه الطرق المطوَّرة تستطيع بشكل كبير تخفيض كلفة تنفيذ عملية المساحة الفضائية. طالما أن هذه الطرق ذات أهمية نظرية وعملية على حدٍ سواء، فأنه لم يتم فقط تبيان وعرض أفضل النتائج، لكن تم اقتراح بعض النواحي المتنوعة لهذه الطرق. هذا يؤمن دافعاً قوياً وفرصة غنية للابتكار بتكيف وتعديل الطرق التقريبِّية من أجل حل وتحسين المشكلات العملية المساحية الأخرى التي يكون فيها صعباً جداً الحصول على الجدوى والحلول الجيدة.



منظمة المجتمع العلمي العربي
Arab Scientific Community Organization

الفصل الأول

مقدمة

1.1 مقدمة

تمَّ استخدام النظام الجي بي اس (Global Positioning System, GPS) أو نظام تحديد المواقع باستخدام الأقمار الصناعية للأغراض العسكرية بهدف الاستطلاع والمراقبة من قبل وزارة الدفاع الأمريكية. يتكون هذا النظام من 24 قمراً صناعياً. ويزود المستخدم على مدار الـ 24 ساعة بالموقع ذي الإحداثيات الثلاث بدقة عالية جداً وبالمعلومات الزمنية لأي مكان من الكرة الأرضية. إضافة لما ذكر آنفاً، يمتلك هذا النظام تأثيراً فعَّالاً على كافة المجالات الهندسية والجيوفيزيائية وخاصة الأعمال المساحية في تحديد المواقع والتغيرات الحاصلة فيها بدقة متناهية وبكلفة قليلة وخلال فترات رصد قصيرة. يمكن تحقيق ذلك دون الحاجة لتأمين شرط الرؤيا بين النقاط المساحية الذي يُعدُّ أساسياً باستخدام الطرق المساحية التقليدية. من ناحية أخرى إن استخدام أجهزة نظام الجي بي اس مكلف جداً بالمقارنة مع الطرق الأخرى، وهذا يصبح مهماً جداً عندما تزداد كمية الأعمال (مثلاً، الشبكات الكبيرة). للحصول على الفائدة العظمى من استخدام ميزات نظام الجي بي اس، فإن التنظيم المتناسق لمكونات العمل الحقلي مهم وضروري لشبكة الجي بي اس (GPS Surveying Network)، وخاصة مع ازدياد عدد أجهزة الاستقبال (Receivers). وتتكون مركبات العمل الحقلي لنظام الجي بي اس (GPS Field-Work) من جميع المتغيرات (Variables) التي يُمكن التحكم بها (Controllable) والتي لا يمكن

التحكم بها (Uncontrollable) كالزمن، والكلفة، والموظفين، ومواقع النقاط (Stations)، والأقمار الصناعية (Satellites) المراد استخدامها، والأشعة الزمنية (Sessions) المراد رصدها، وطولها، وبرنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة ورصدها (Schedule) باستخدام جهاز الاستقبال (أي الترتيب المتسلسل (Order) الذي سيتم به رصد هذه الأشعة). إن الجوهر الأساسي هنا هو البحث عن البرنامج المثالي (Optimal Schedule) لتنظيم العمل الحقلي (أو القريب منه) الذي يُمكّن من تحقيق تخفيضات كبيرة في الكلفة الإجمالية للأعمال المساحية باستخدام المساحة الفضائية والتي تجعل من السهولة القيام بتنفيذ العمل في أقصر زمن ممكن.

2.1 حول ماذا يدور هذا الكتاب؟

إن عمليات التنظيم في الإدارة كالتسلسل (Sequencing) وبرمجة الأعمال وجدولتها (Scheduling) تلعب دوراً حاسماً في تنظيم العمل الحقلي لنظام الجي بي اس. في البيئة الاقتصادية التنافسية الحالية، وإن تنظيم مركبات العمل الحقلي في برنامج فعَّال لتصميم الشبكة أصبح مرغوباً جداً. فالمسَّاحون المَّستخدمون لنظام الجي بي اس يعملون على تخفيض أزمنة الرصد والحصول على برنامج تنظيم العمل الحقلي لاستخدام أجهزة الاستقبال بطريقة أكثر فعَّالية، وهكذا فإن تنظيم القدرات تُشكل الآن التركيز الأهم للحصول على ميزة تنافسية. كما إن تطوير الطرق ذات الفعَّالية الحسابية التي يمكنها تلبية متطلبات تصميم شبكات الجي بي اس (شبكة كبيرة، الخدمات اللوجستية) لا تزال متأخرة مقارنة بالتطورات التكنولوجية الأخرى في مجال نظام تكنولوجيا الجي بي اس وفي تخفيض أزمنة الرصد. لذلك، فإن الحاجة إلى إجراء برمجة وجدولة فعَّالة للأعمال المساحية باستخدام نظام الجي بي اس أصبح في غاية الأهمية. فالهدف الرئيسي من هذا **الكتاب** نمذجة مكونات العمل الحقلي باستخدام الطرق التقريبيِّة (Heuristic)، ضمن مجال بحوث العمليات ((Operational Research (OR) والذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence)، من أجل تحديد أفضل تصميم ممكن لشبكة الجي بي اس التي تأخذ بالحسبان القيود الهندسية والكلفة.

3.1 البحث العملياتي

في معظم تطبيقات البحث العملياتي، يكون الاهتمام الأكبر للباحثين هو للحصول على الحل الجيد بما فيه الكفاية (Good Enough) أكثر من إثبات وتحقيق المثالية (Optimality). وإن الحل الجيد بما فيه الكفاية يعني طبعاً الحل الجيد جداً (Very Good Solution) والأفضل بكثير من الحل الذي يمكن الحصول عليه بوسائل أخرى. عند مناقشة مثالية حل ما فأنه من المهم جداً تحقيق ما هو هدف عمليات التحسين (Optimization). هل السعي للحصول على أرخص أو أسرع حل؟، أو، ذاك الحل الأكثر قابلية للاستخدام، أو، ببساطة أي حل يلبي شروط محددة؟ إن الهدف من برمجة وجدولة عمليات تصميم الشبكة المساحية بالجي بي اس السعي للحصول على البرنامج الممكن لعمليات تصميم الشبكة الأقل كلفة (Cheapest Schedule) والذي يلبي كلًا من متطلبات نظام الجي بي اس والطرق التقريبِّية. كما إن صيغة أو معيار القبول الذي سيعتمد في هذه الدراسة يشمل المفاهيم مثلاً (كم هو جيد برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة الذي تمَّ الحصول عليه؟) و(كم هي مقدار التكلفة (الزمن في سياق هذه الدراسة) الذي سيتم توفيرها؟) واعتمدت الجمعية البريطانية للبحث العملياتي (Operational Research Society ORS) التعريف التالي للبحث العملياتي: «علم صنع القرار في العمل والصناعة والحكومة والمجتمع»

"The Science of Decision Making in Business, Industry, Government and Society".

إن القسم الأكبر من الباحثين في بحوث العمليات يعملون في مجال مسائل التحسين التوافقي أو التجميعي (Combinatorial Optimization Problems, COPs)، وعلوم الإدارة (Management Science MS)

4.1 مسائل التحسين التجميعي التوافقي (Combinatorial Optimisation Problems COPs) يعرف التحسين التجميعي التوافقي (Combinatorial Optimization CO) (Lawler 1976) بما يلي:

"Combinatorial Optimisation (CO) is the mathematical study of finding an optimal arrangement, grouping, ordering, or selection of discrete objects".

(التحسين التوافقي هو الدراسة الرياضية لإيجاد التنظيم، والتجميع، والترتيب أو الاختيار المثالي للأشياء المنفصلة)

عند دراسة تطبيقات من واقع الحياة العملية على أساس مسألة تحسين توافقية، فإن النموذج الرياضي الموافق لهذه التطبيقات يمكن أن يكون كبيراً جداً وهذا يمكن أن يؤدي إلى صعوبات. فبعض مسائل التحسين: التموضع الأمثل للأجهزة في مواقع معينة، تجميع أفضل للزبائن (The Best Ggrouping of Customers)؛ الترتيب المثالي لإنجاز مجموعة من الأعمال على أجهزة Optimal Ordering of Jobs) (on Machines. إن هدف مسألة التحسين التوافقي هو بحث وتحديد الحل الأنسب لتحسين (تصغير أو تكبير) مجموعة من الحلول الممكنة لمسألة ما في الحياة الواقعية. مثلاً، في الهندسة الميكانيكية يرغب المهندس بتصميم سيارة بمواد مركبة، فهو بذلك يهدف إلى تحديد الشكل الأكثر مناسب من خلال دمج وربط مجموعات متنوعة من هذه المواد المركبة لكي يُكبر أو يعظم من متانة السيارة. فالمهندس الميكانيكي، باستخدام التحسين (التكبير أو إيجاد الحدود العظمى في هذه الحالة) سوف يصمم بشكل مصور سيارة مركبة أخف وأقوى، وأكثر جاذبية.

في المساحة الفضائية، يريد المهندس المساحي تصميم شبكة آخذاً بعين الاعتبار مركبات العمل الحقلي كالزمن والعاملين، ومواقع النقاط، والأشعة الزمنية المطلوب رصدها، وطول الشعاع المرصود، وعدد الأقمار الصناعية، وبرنامج تنظيم العمل الحقلي لحركة جهاز الاستقبال... إلخ. ويرغب المهندس المساحي إلى تحديد أفضل برنامج لتصميم الشبكة آخذاً بعين الاعتبار العوامل المذكورة أعلاه لكي يخفض زمن رصد الشبكة. فالمهندس المساحي، باستخدام التحسين (التصغير أو إيجاد الحدود الدنيا في هذه الحالة) سوف يُصمم برنامج تنظيم العمل الحقلي الأكثر مناسبة والأقل كلفةً مع الحفاظ على متطلبات الدقة في نظام الجي بي اس. مما ذكر أعلاه، يمكن صياغة مسألة المساحة الفضائية كمسألة تحسين تجميعية توافقية ويمكن تحسينها باستخدام الطرق التقريبِّية المبنية على مبادئ الذكاء الاصطناعي.

5.1 خوارزميات الذكاء الاصطناعي

في معظم تطبيقات بحوث العمليات، سوف يضطر الباحث أو المهني عادة إلى إجراء مفاضلة قسرية (Unpleasant Trade-Off) بين ميزتين تتعلقان بجودة الخوارزمية المستخدمة وهما: أصغر الجهود الحسابية (Smallest Computational Efforts) وجودة النتيجة (Result Quality). وإن الحصول بشكل فعَّال على حل سريع بانحراف صفر من الحل المثالي هو عملية معقدة وصعبة جداً نظرياً وعملياً. وهكذا، فإن معرفة الحل الدقيق لمسألة تحسين توافقية عملياً هي خارج حدود الإمكانية بسبب الزمن الحسابي الضخم ومتطلبات ذاكرة التخزين اللازمة لشبكات الجي بي اس الكبيرة جداً. أيضاً، معرفة هذا الحل الدقيق غير مرغوب غالباً، أكثر من الحل القريب من المثالي (Near-Optimal) السهل الحساب، وخاصة عندما تكون عوامل (Parameters) أو معاملات (Coefficients) هذه المسألة خاضعة للأخطاء. لهذا فإن الحصول على الحل القريب من المثالي لمسألة تحسين توافقية حقيقة في وقت حسابي مقبول من شأنه أن يلبي احتياجات أي مهني في مجال بحوث العمليات.

تُعرّف الطريقة التقريبيّة بأنها عبارة عن طريقة تكرارية تقريبية لإيجاد حل ما بأعلى جودة وبشكل سريع وفعَّال لمسائل التحسين الصعبة. تبدأ هذه الطريقة عملها باعتماد حل أولي (Initial Solution) (في سياق هذه الدراسة، برنامج أولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة ((Initial Schedule)، وتحاول بشكل تكراري تحسين الحل الحالي بتطبيق سلسلة من التغيرات تبعاً لبعض القواعد حتى يتم تحقيق صيغة إيقاف العمل. تتألف المراحل الأساسية للإطار العام لأية طريقة تقريبية من: تمثيل وإنشاء البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي، إنتاج الحلول (Generation of Solutions)، واستراتيجية قبول الحلول (Acceptance Solution Strategy)، وصيغة إيقاف العمل (Stopping Criteria). وتختلف الطرق التقريبيّة فيما بينها بالخيارات التي يتم تنفيذها في كل خطوة من خطوات الإطار العام المذكور أعلاه، وتقسم إلى عدة أنواع، على سبيل المثال، طريقة البحث المتقارب المحلي، وطريقة التلدين التجريبي، وطريقة البحث المحظور، والخوارزميات الجينية، وطريقة عمل النمل. وتعتمد الطريقة الأولى على مبدأ البحث والتفتيش في جوار الحل الحالي، أما الطريقة الثانية فهي مشتقة من مبادئ

العلوم الفيزيائية وبشكل أخص من الميكانيك الإحصائي، أما الثالثة فتعتمد على المبادئ العامة لحل المسألة بشكل ذكي، أما الطريقة الرابعة فهي مشتقة من العلوم البيولوجية، والأخيرة من تصرف وأسلوب عمل النمل.

6.1 أهداف البحث والخطوط العريضة للكتاب

تمَّ تنظيم محتويات الكتاب كما يلي: يتضمن الفصل الثاني شرحاً موجزاً لعملية المساحة باستخدام نظم الأقمار الصناعية المتمثلة بالنظام الأمريكي الجي بي اس (GPS) والنظام الروسي غلوناس (GLONASS) وأقسام هذين النظامين، وعرض عملية التنظيم اللوجيستي لشبكات الجي بي اس. وشرح المفهوم العام لمبدأ المثالية ذات الحدود الصغرى (المحلية) والعظمى (الكبيرة) (Global and Local Optima) بالنسبة لمجال الجي بي اس وصياغة شبكة الجي بي اس كمسألة تحسين توافقية. ويتضمن الفصل الثالث تعريف وتصنيف الطرق التقريبِيَّة وتحليلها، والحاجة لها، والإطار العام لطرق الجي بي اس مع المفاهيم الأساسية لهذه الطرق. أيضاً شرح تطوير استراتيجية الطرق التقريبِيَّة في اختيار مجموعة الحلول المجاورة (Neighbourhood Selection Strategy) وكيفية تجميع المعلومات خلال عمليات البحث وإعادة إنشاء برامج تنظيم العمل المختلفة والتقريبية. أما الفصل الرابع فيتضمن الشرح النظري المفصل لمبدأ عمل طريقة التلدين التجريبي وتحليل وتصنيف مركباتها، والتحقق من صحة نتائج وعمل هذه الطريقة باستخدام شبكات ذات حلول مثالية ومحسوبة مسبقاً باستخدام الطرق الدقيقة. أما الفصل الخامس فيتضمن الشرح النظري المفصل لمبدأ عمل واستراتيجية طريقة البحث المحظور وتحليل وتصنيف مركباتها، والتحقق من صحة نتائج وعمل هذه الطريقة باستخدام شبكات ذات حلول مثالية ومحسوبة مسبقاً باستخدام الطرق الدقيقة. ويتضمن الفصلين السادس والسابع الهيكلية ذاتها، حيث يعرض الفصل السادس تصميم شبكة الجي بي اس ذات الشكل المضلَّع المغلق ((Triangulation (Areal) لجمهورية مالطا، مع العرض النظري والعملي لشبكة مالطا والتفصيل التحليلي لمراحل تطبيق الطرق التقريبِيَّة المتناسبة مع الشروط الهندسية لهذه الشبكة. في حين يتضمن الفصل السابع تصميم شبكة الجي بي اس ذات الشكل المضلَّع المفتوح ((Traverse (Linear) لجمهورية سيشيلز، والعرض النظري والعملي لشبكة سيشيلز، بالإضافة إلى

التفصيل التحليلي لمراحل تطبيق الطرق التقريبِّية المتناسبة مع الشروط الهندسية لهذه الشبكة. أيضاً يتم عرض التحليل النظري والعملي للنتائج الحاصلة والمقارنة بين فعَّالية عمل الطرق التقريبِّية المطبَّقة. ويتضمن الفصلين الثامن والتاسع الشرح النظري المفصل لمبدأ عمل واستراتيجية الخوارزميات الجينية وخوارزمية منظومة النمل وتحليل وتصنيف مركباتهما، والتحقق من صحة نتائج وعمل هاتين الطريقتين مع عرض التطبيقات المهمة المبنية على البحث العلمي والتطوير التقاني لمنظومة الإنذار المبكر للكوارث باستخدام هذه الخوارزميات.



منظمة المجتمع العلمي العربي
Arab Scientific Community Organization

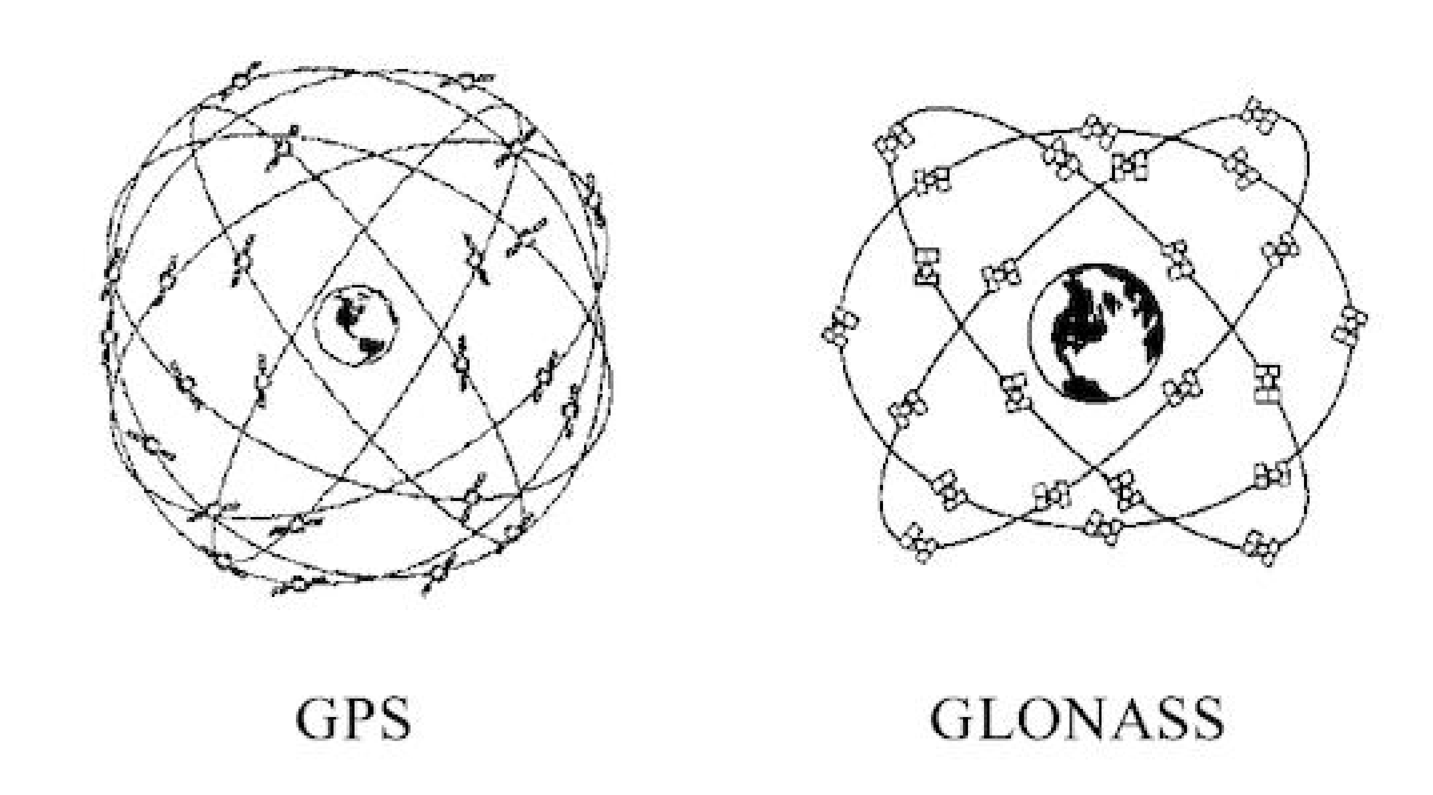
الفصل الثاني

المساحة الفضائية

بالأقمار الصناعية وتصميم الشبكات الجيوماتيكية

1.2 مقدمة

سيتمَّ في هذا الفصل: عرض لمحة موجزة عن المساحة الفضائية (Satellite Surveying) مع أمثلة على الشبكات المساحية والأعمال التنظيمية (اللوجستية) (Logistics GPS) الخاصة بعمل نظام الجي بي اس. وسيتم أيضاً تقديم صياغة شبكة الجي بي اس كمسائل تحسين (Combinatorial Optimisation Problems COP) ومفهوم المثالية ذات الحدود الصغرى (المحلية) والعظمى (الكبرى) (Local and Global Optima) المتعلقة بمجال الجي بي اس. وسيتم تقديم عرض تحليلي لمثال مبسط للشبكة بهدف تسليط الضوء على الصعوبات الأساسية التي يمكن أن تنشأ بين عمليات نقل أجهزة استقبال الجي بي اس خلال المراحل المختلفة لرصد الأشعة، وكيفية معالجة الطرق التقريبيِّة المطوَّرة لهذه الصعوبات المتأصلة، وبالتالي الوصول إلى إيجاد أفضل برنامج لتنظيم وتنسيق العمل الحقلي لنقل هذه الأجهزة في أثناء تصميم الشبكة.



الشكل 1.2 كوكبة الأقمار الصناعية لكل من الجي بي اس وغلوناس (Elliott, 1996).

2.2 الجي بي اس وغلوناس (GPS and GLONASS)

الجي بي اس (GPS) وغلوناس (GLONASS) (انظر الشكل 1.2) هما نظامان عالميان للملاحة بالأقمار الصناعية تم تطويرهما واستخدامهما من قبل الولايات المتحدة وروسيا على التوالي. ويوجد تشابه كبير بين النظامين من حيث كوكبة الأقمار الصناعية (Satellite Constellation)، والمدارات الإهليجية (Orbits)، والشكل البنيوي للإشارة (Signal Structure) كما هو مبين في الجدول 2.1. وكلا النظامين الجي بي اس وغلوناس يؤمنان الاستمرارية في الحصول على الإحداثيات الثلاث بدقة عالية للموقع، والسرعة والزمن للمستخدم على أي مكان من سطح الكرة الأرضية. من ناحية أخرى، كلا النظامين مستقلان ذاتياً، حيث لكل نظام زمن مرجعي (Time Reference)، وجملة إحداثية فراغية (Spatial Coordinate System) على مدار الأربع والعشرين ساعة وفي كل الأحوال الجوية وعلى أي مكان من سطح الكرة الأرضية. ويلخص الجدول 1.2 السمات البارزة لكل من كوكبتي نظام الجي بي اس وغلوناس، والشكل البنيوي للإشارة وخصائص دقة الموقع. كما تمَّ ملاحظته مسبقاً، كلا النظامين متشابهان ويعود الاختلاف بينهما إلى الإطارات الإهليجية في الجي بي اس، التي هي ستة في غلوناس ثلاثة، وتكون تقسيمات الرمز مقابلة لتقسيمات التردد بالنسبة لإشارات التوقيت، ومعدل التقسيم (Chipping Rate) والعناصر الأخرى ويمكن رؤيتها في الجدول 1.2. ويوفر نظام غلوناس في الميلان العالي لإطاره الإهليجي أفضل مجال للتغطية في المناطق المدارية (Polar Regions).

System النظام	GPS (American) النظام الأمريكي الجي بي اس	GLONASS (Russian) والنظام الروسي غلوناس
الكوكبة Constellation		
عدد Number of satellite الأقمار الصناعية	24	24
Number of orbital planes عدد المدارات الإهليجية	6	3
Orbital inclination (deg) الميل المداري (درجة)	55	65.8
القطر Orbital radius (km) المداري (كم)	26,560	25,510
(الفترة Period (hr:min) ساعة :دقيقة)	11:58	11:16
Ground track repeat تكرار المسار حول الأرض	sidereal day يوم فلكي	8 sidereal days ثمانية أيام فلكية
خصائص الإشارة Signal Characteristics		
Carrier signal (MHz) حامل الإشارة (ميغاهرتز)	L1:1575.42 L2:1227.60	،L1:(1602+0.5625n) ،L2:(1246+0.4375n) 24،.....،n=1،2

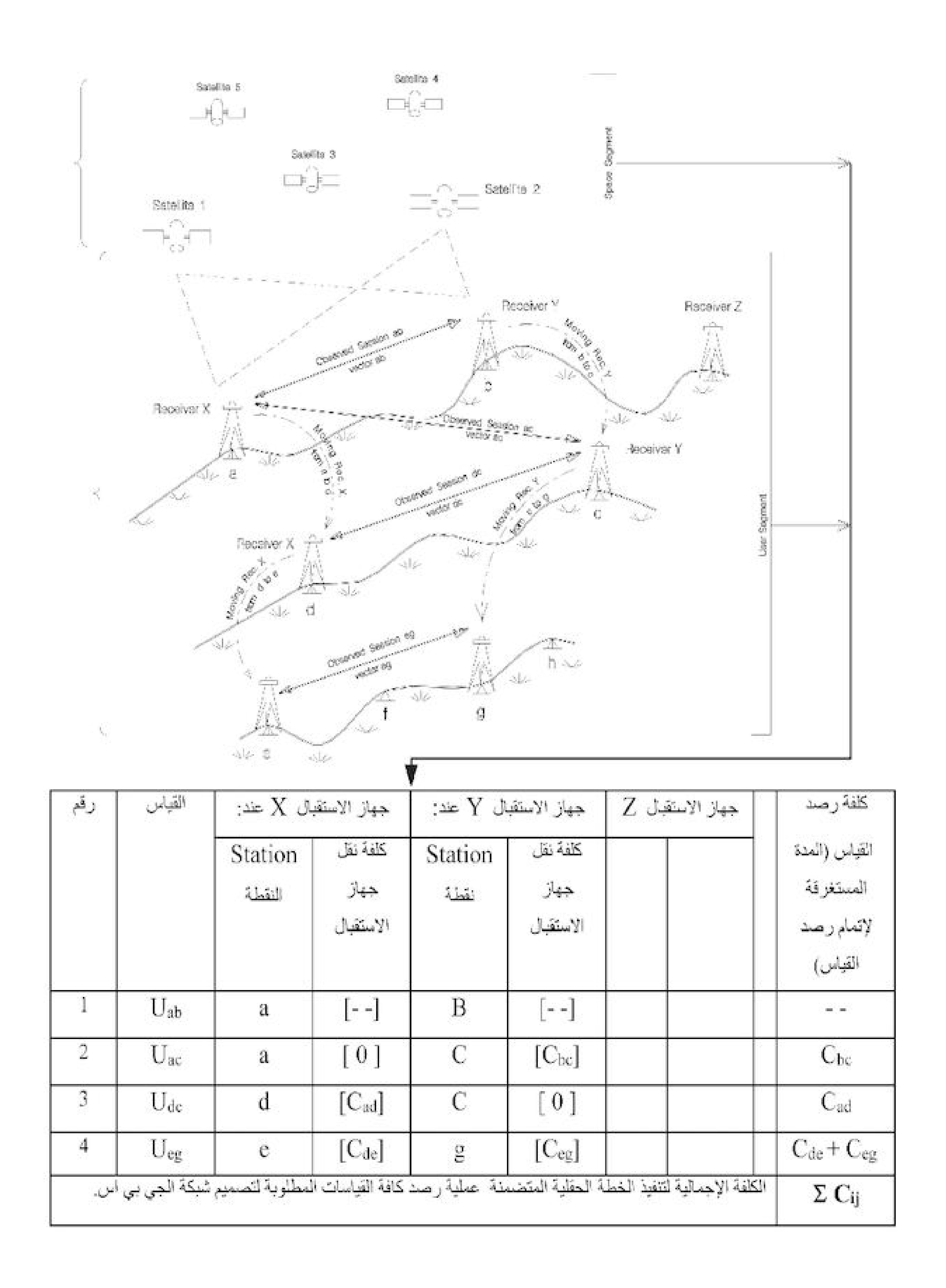
Code	CDMA	FDMA
الرمز	C/A code on L1 P code on L1 and L2	C/A code on L1 P code on L1 and L2
Code frequency (MHz) رمز التردد (ميغاهرتز)	C/A code:1.023 P code:10.23	C/A code: 0.511 P code: 5.11
المعايير المرجعية Reference standards		
Coordinate System والجملة الإحداثية	WGS84	PZ90
الزمن Time	UTC(USNO)	UTC(SU)
مواصفات الدقة Accuracy specification(95%)		
أفقيHorizontal (m)	100	100
شاقوليVertical (m)	140	250

الجدول 1.2 خصائص النظامين الجي بي اس وغلوناس (Elliott, 1996)

تتم في الوقت الحاضر عمليات دمج هذين النظامين في نظام واحد ذي فعَّالية وتأثير هائلين وخاصة على الأعمال الملاحية وبالأخص المساحية لتوفر الغطاء المركز والكثيف المحيط بالكرة الأرضية والمؤلف من 48 قمراً صناعياً وهذا عامل مهم جداً لزيادة الدقة المتناهية والسرعة القصوى بالحصول على المواقع الإحداثية لنقاط التسوية المكوَّنة للشبكة المساحية المرصودة بالأقمار الصناعية وتقليل الكلفة الإجمالية للأعمال الطبوغرافية بشكل كبير جداً (Elliott,1996). وبالنسبة للأغراض الملاحية والمساحية، فإن الشبكات المرصودة بالجي بي اس أصبحت أكبر، وتغطي مجالات أوسع من سطح الأرض وتُعدُّ مصدراً مهماً للجملة الإحداثية.

3.2 الشبكات الجيوماتيكية والتنظيم اللوجستي لنظام الجي بي اس

تختلف الشبكة المرصودة بنظام الجي بي اس اختلافاً واضحاً عن الشبكة المساحية المرصودة بالطرق التقليدية (Terrestrial Methods) بأنه لا حاجة لتأمين شرط الرؤيا بين مواقع النقاط حيث يتم تحديد هذه الشبكة باستخدام قياسات الأشعة الثلاثية الأبعاد (3D). وتكمن قدرة نظام الجي بي اس في تنفيذ المساحة الدقيقة للأغراض الجيوديزية بجزء من الزمن والكلفة أكثر مما هو مطلوب منه في الطرق التقليدية. على كل حال، يمكن تحسين هذه الدقة بنفس الزمن والكلفة المطلوبتين للشبكات الكبيرة إذا تمَّ التركيز على الجانب اللوجيستي للعمل الحقلي للجي بي اس. وقد تمَّ شرح الجانب اللوجستي للجي بي اس بشكل مفصل في المرجع (Dare, 1995)، لكن لمحة موجزة عن هذا الجانب ستعرض في الشكل 2.2.



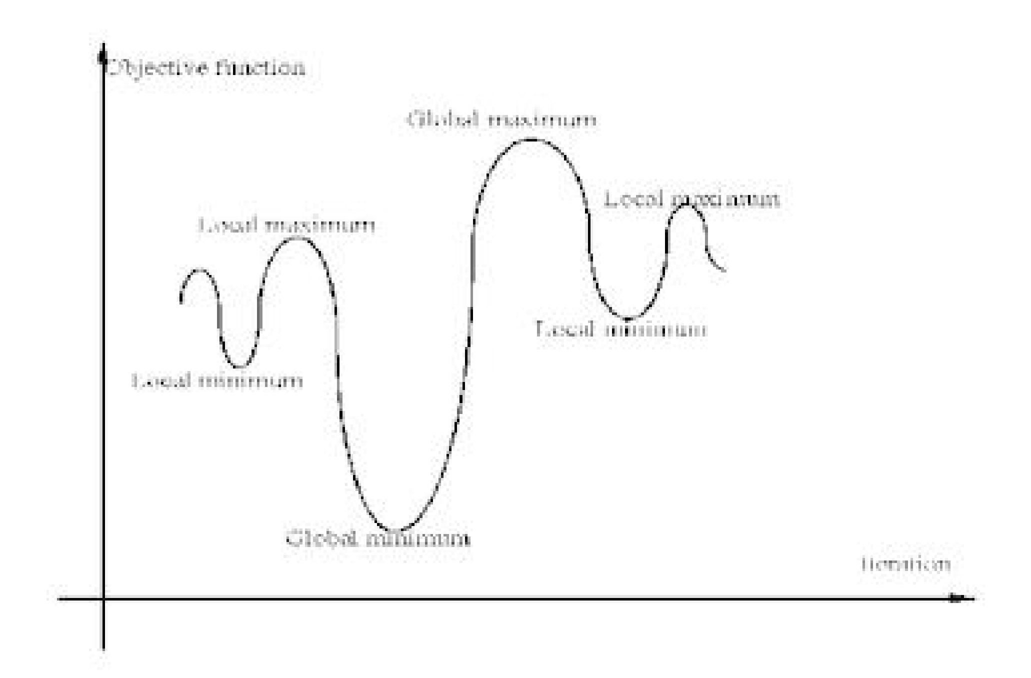
رقم	القياس	جهاز الاستقبال X عند:		جهاز الاستقبال Y عند:		جهاز الاستقبال Z			كلفة رصد القياس (المدة المستغرقة لإتمام رصد القياس)
		Station النقطة	كلفة نقل جهاز الاستقبال	Station نقطة	كلفة نقل جهاز الاستقبال				
1	U_{ab}	a	[- -]	B	[- -]				- -
2	U_{ac}	a	[0]	C	[C_{bc}]				C_{bc}
3	U_{dc}	d	[C_{ad}]	C	[0]				C_{ad}
4	U_{eg}	e	[C_{de}]	g	[C_{eg}]				$C_{de} + C_{eg}$
الكلفة الإجمالية لتنفيذ الخطة الحقلية المتضمنة عملية رصد كافة القياسات المطلوبة لتصميم شبكة الجي بي اس.									ΣC_{ij}

الشكل 2.2 عملية رصد الأشعة الزمنية باستخدام أجهزة استقبال الجي بي اس.

يتم إنشاء مصفوفة الكلفة الأساسية (Original Cost Matrix) التي تمثل (الزمن اللازم) لنقل جهاز الاستقبال من نقطة إلى أخرى ويتم حسابها باتباع الصيغة الخاصة بتخفيض هذه الكلفة. أي إن هذه المصفوفة تتضمن الزمن اللازم لنقل أجهزة الاستقبال بين نقاط الشبكة المطلوب رصدها. فعلى سبيل المثال كما هو موضح في الشكل 3.2،

يمكن الحصول على كلفة رصد القياس (ac) بعد الانتهاء من رصد القياس (ab) بجمع كلفة نقل جهاز الاستقبال (Y) من النقطة (b) إلى النقطة (c) بينما بقي جهاز الاستقبال (X) على النقطة (a). وبنفس الطريقة تمَّ تحديد كلفة رصد القياس (dc) الذي يمثل مجموع كلفتي نقل الجهاز (X) من النقطة (a) إلى النقطة (d) بينما بقي الجهاز (Y) على النقطة (c). وتُقدر هذه الكلفة فعلياً إما بزمن الانتقال بين النقاط المساحية أو بالمسافات الفاصلة بينها. في هذا الكتاب، تعتبر الكلفة المستخدمة هي الزمن ولمزيد من التفاصيل حول إنشاء مصفوفة الكلفة يُفضل العودة إلى المرجع (Dare, 1995). ويمكن أن تُعرَّف شبكة الجي بي اس المساحية، في إطار المفهوم التقريبي، بأنها مسألة تحسين توافقية تكون فيها جميع المتغيرات (Variables) عدداً صحيحاً (Integer).

يمكن توصيف مسألة شبكة الجي بي اس كما يلي. يوجد عدد من البرامج الفرعية (Sub-Schedules) لتنظيم عمليات تصميم الشبكة (J)، وعدد من أجهزة الاستقبال (R) وعدد من النقاط المساحية (N). ويتكون البرنامج الفرعي من سلسلة متتالية من الأشعة أو القياسات الزمنية (U). يُعرف الشعاع أو القياس الزمني بالفترة الزمنية أو مدة الرصد التي يحتاجها جهازي استقبال أو أكثر بآن واحد لتجميع والتقاط إشارات الأقمار الصناعية لمدة محددة كما هو مبين في الشكل 2.2. حالما تبدأ عملية الرصد فأنه لا يجوز تجزئة أو إيقاف عملية قياس الشعاع (أي يجب أن تكون عملية قياس الشعاع مستمرة حتى الانتهاء منه). يستطيع كل جهاز (RX، RY، RZ) رصد نقطة واحدة على الأكثر من (a، b، c، d، e، f) في وقت واحد.



الشكل 3.2 المثالية المحلية والكبرى (الحدود الصغرى والعظمى).

المسألة المراد معالجتها هي البحث عن أفضل تنظيم يؤمن عملية رصد كافة الأشعة بشكل متعاقب ومتسلسل وبأقل كلفة ممكنة. يعني ذلك تحديد كيف سيتم نقل كل جهاز بين النقاط المراد تحديد إحداثياتها بأسلوب فعَّال إذ يؤخذ بالحسبان عناصر مهمة كالزمن والكلفة.

4.2 صياغة شبكة الجي بي اس كمسألة تحسين توافقي

شكلت الشبكات المساحية الأرضية (Terrestrial Networks) الهيكل الرئيسي الذي يدعم كل النشاطات المساحية الأرضية. إن تصميم هذه الشبكة، التي هي الإطار الأساسي للحصول على المعلومات الجيوماتية في العديد من البلدان، يعتمد على الحدس والمعادلات التجريبية (Grafarend and Sanso, 1985). بعد ذلك، يتمَّ تطوير المحاكاة الحاسوبية (Computer Simulation) وتنفيذها هو من أجل اختبار الشبكات قبل إجراء أي عملية رصد (Whiting, 1983). وحديثاً، أصبح إنشاء نقاط هذه الشبكة يتم باستخدام تقنيات الجي بي اس بشكل مرجح في حال إعادة إيجاد إحداثيات نقاط موجودة، أو إنشاء نقاط جديدة، أو توسيع شبكات لتشمل مناطق أو بلدان جديدة.

لتمثيل مسألة شبكة الجي بي اس في الإطار العملي لخوارزميات الذكاء الاصطناعي، تمَّ استخدام الرموز الآتية:

J: عدد البرامج الفرعية لتنظيم عمليات تصميم الشبكة.

N: عدد النقاط المساحية.

R: عدد أجهزة الاستقبال.

U: عدد الأشعة أو القياسات الزمنية.

Cij: تكلفة نقل جهاز الاستقبال من النقطة i إلى النقطة j.

Sr: مجموعة النقاط التي تمَّ المرور عليها من قبل جهاز الاستقبال r.

V: برنامج تنظيم العمل الحقلي الممكن لتصميم الشبكة والذي يضم كافة البرامج الفرعية.

C(V): كلفة برنامج تنظيم العمل الحقلي (V) لتصميم الشبكة.

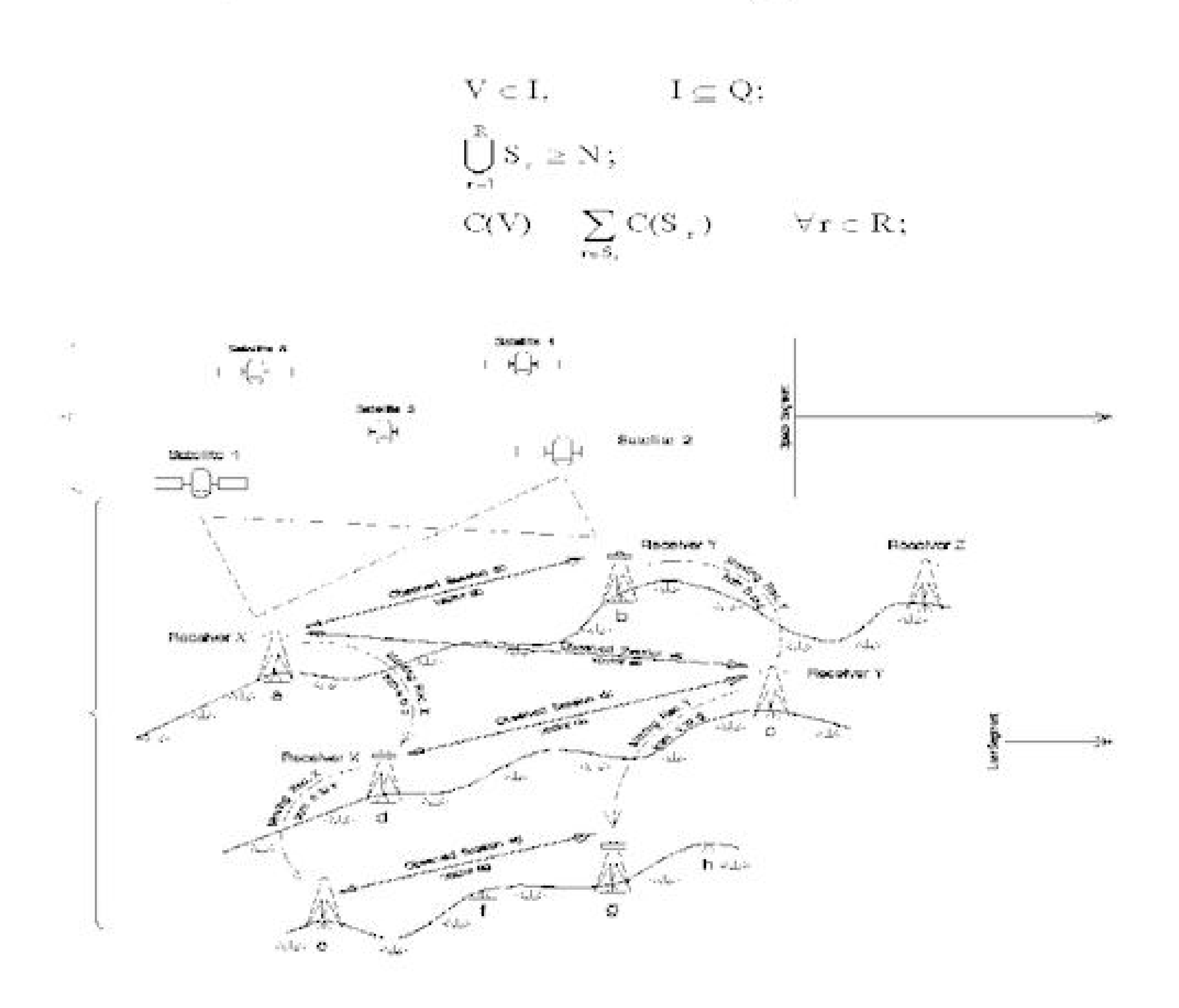
I(V): مجموعة من برامج تنظيم العمل الحقلي الممكنة (حجم مجموعة البرامج المجاورة).

Q(V): المجال البحثي المحيط ببرنامج تنظيم العمل الحقلي الممكن.

الهدف من ذلك هو إيجاد الحل المثالي أو القريب منه والذي يُخفض الكلفة الإجمالية لرصد كامل الشبكة ويلبي متطلبات المساحة الفضائية.

تصغير تابع الكلفة: C(V) الخاضعة الى:

$$V \subset I, \qquad I \subseteq Q;$$
$$\bigcup_{r=1}^{R} S_r \supseteq N;$$
$$C(V) \quad \sum_{r \in S_r} C(S_r) \qquad \forall r \in R;$$



شكل 4.2 رصد كامل الشبكة ومتطلبات المساحة الفضائية

من الصعب حالياً إنشاء برنامج تنظيم العمل الحقلي الجيد للشبكات المساحية المرصودة بالجي بي اس، حيث يقوم المهندس المساحي ذو الخبرة باستخدام الجي بي اس بشكل عام بإنشاء برنامج تنظيم العمل الحقلي يدوياً على أساس يومي مستخدماً الحدس والخبرة. في هذا الكتاب، تمَّت دراسة المسألة بأسلوب علمي من خلال صياغتها كمسألة تحسين توافقي كما هو سيرد موضحاً في الشكل 6.2. وتمَّ اقتراح عدة طرق تقريبية لأتمّته المسألة وحلها بمساعدة خوارزمية مدمجة ضمن برمجية حاسوبية. تساعد هذه الطرق التقريبِّية المبرمجة المهندس المساحي بإنتاج برنامج تنظيم العمل الحقلي لكامل الشبكة بطريقة فعَّالة. تتكون عملية تصميم شبكة الجي بي اس كمسألة تحسين تجميعية توافقية من ثلاثة أجزاء أساسية:

- الدالة الهادفة (Objective Function)، والتي هي عبارة عن تابع واحد تقريباً في جميع مسائل التحسين والذي يجب تحسينه (تصغيره أو تكبيره). في

هذا الكتاب، إن الدالة الهادفة لشبكة الجي بي اس المساحية هي الزمن الإجمالي لرصد الشبكة والهدف تصغير هذا الزمن.

- مجموعة من المجاهيل أو المتغيرات (Unknowns or Variables) التي تؤثر على قيمة دالة الهدف للمسألة المراد تحسينها. فهذه المتغيرات مهمة جداً، وفي حال عدم وجودها فأنه لا يمكن تحديد دالة الهدف ولا حدود المسألة. مثلاً، في شبكة الجي بي اس المساحية يمكن أن تشمل المتغيرات الزمن المستغرق على كل نشاط كرصد الأشعة الزمنية.

- مجموعة من الحدود أو القيود (Constraints) التي تسمح لبعض المجاهيل بأخذ قيمٍ معينة ولكن بإقصاء المجاهيل الأخرى. هذه القيود ليست أساسية في مجالٍ مسائل التحسين، وغالباً ما يمكن الحصول على الحل الاقتصادي دون وضع قيود على المتغيرات. في مسألة شبكة الجي بي اس المساحية، مثلاً، لا معنى لصرف مقدار سلبي من الزمن على أي نشاط، ولذلك يتمَّ تقيد جميع متغيرات "الزمن" بحيث تكون غير سالبة، أو، هذه القيود تكون بوجوب زيارة كل نقطة مرة واحدة على الأقل.

كما هو ملاحظ، يستمَّد نظام الجي بي اس بعض نقاط قوته بحل المسألة باتباع التحسين التوافقي لإيجاد أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي لمسائل الشبكات الكبيرة والمعقدة حيث إن غالبية هذه المسائل يصعب حلها بالطرق الدقيقة. إن مسألة الشبكة المساحية للجي بي اس، في سياق التحسين التوافقي التقريبي، هو الحصول على قيم المتغيرات التي تخفض زمن رصد الشبكة وبنفس الوقت الإيفاء بالحدود. ويمكن اعتبار الشبكة النموذجية للجي بي اس وكأنها فقط عملية تحسين توافقية إذا كانت مجموعة من برامج تنظيم عمليات تصميم الشبكة الممكنة توافقية أو منفصلة (Combinatorial or Discrete) (مجموعة منفصلة من برامج تنظيم عمليات محدودة) وتمَّثل بشكل عام كما يلي:

مسألة التحسين التوافقي : تحسين (تصغير أو تكبير قيمة الدالة) f (V) الخاضع إلى ($V \in I$)

تسمى الدالة f(V) بالدالة الهادفة وتقوم بتعين قيمة كلفة جديدة لكل برنامج لتنظيم العمل الحقلي يتمَّ إنتاجه بحيث تكون ضمن مجموعة برامج

تنظيم العمل الحقلي المجاورة والبديلة (V∈I)، وإن (V) عبارة عن برنامج تنظيم العمل الحقلي الممكن ويتألف من مجموعة من الأشعة، و(I) مجموعة من برامج تنظيم العمل الحقلي المجاورة I(V). يُقال عن برنامج ما لتنظيم العمل الحقلي (V) بأنه مثالي إذا لم يكن هناك برنامج ممكن آخر (V') يحقق المعادلة (f(V)>f(V')). مما سبق، يمكن أن تصاغ مسألة المساحة الفضائية كطريقة تحسين توافقية ويمكن تحسينها باستخدام الطرق التقريبيِّة.

إن الهدف إيجاد برنامج تنظيم العمل الحقلي الأقل الكلفة والاخذ بعين الاعتبار النقطتين المهمتين المتعلقتين بعمليات البحث التقريبي هما:

- جودة برنامج تنظيم العمل الحقلي الناتج، وهذا يعني، كم هي جيدة الحدود الصغرى للمثالية المحلية (Local Optima) لهذا البرنامج وكيف ترتبط بالحدود الكبرى المثالية العظمى (Global Optima)؟

- تعقيدات عمليات البحث التقريبي، كم هي مقدار السرعة التي نستطيع بها إيجاد المثالية المحلية؟

إن تصميم شبكة الجي بي اس كمسألة تقريبية تجميعية توافقية تتكون من طورين: طور البناء (Construction phase) وطور التحسين (Improvement phase). **أولاً**، يمثل طور البناء إنتاج البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي (يدوياً أو إنشائياً) والذي يحتوي على الأشعة المطلوب رصدها. **ثانياً**، طور التحسين والذي يتم فيه تحسين برنامج تنظيم العمل الحقلي الذي تم إنتاجه بإجراء التبادل بين الأشعة الزمنية (Sessions Interchange). توقف الطريقة عمليات البحث عندما لا تعطي عمليات التبادل أي تحسن ملحوظ، أي عندما يتم التوصل إلى المثالية المحلية أو العظمى. تستخدم هذه الدراسة الطرق التقريبيِّة في طور التحسين لعمليات البحث من أجل مواصلة البحث حتى الحصول على المثالية العظمى.

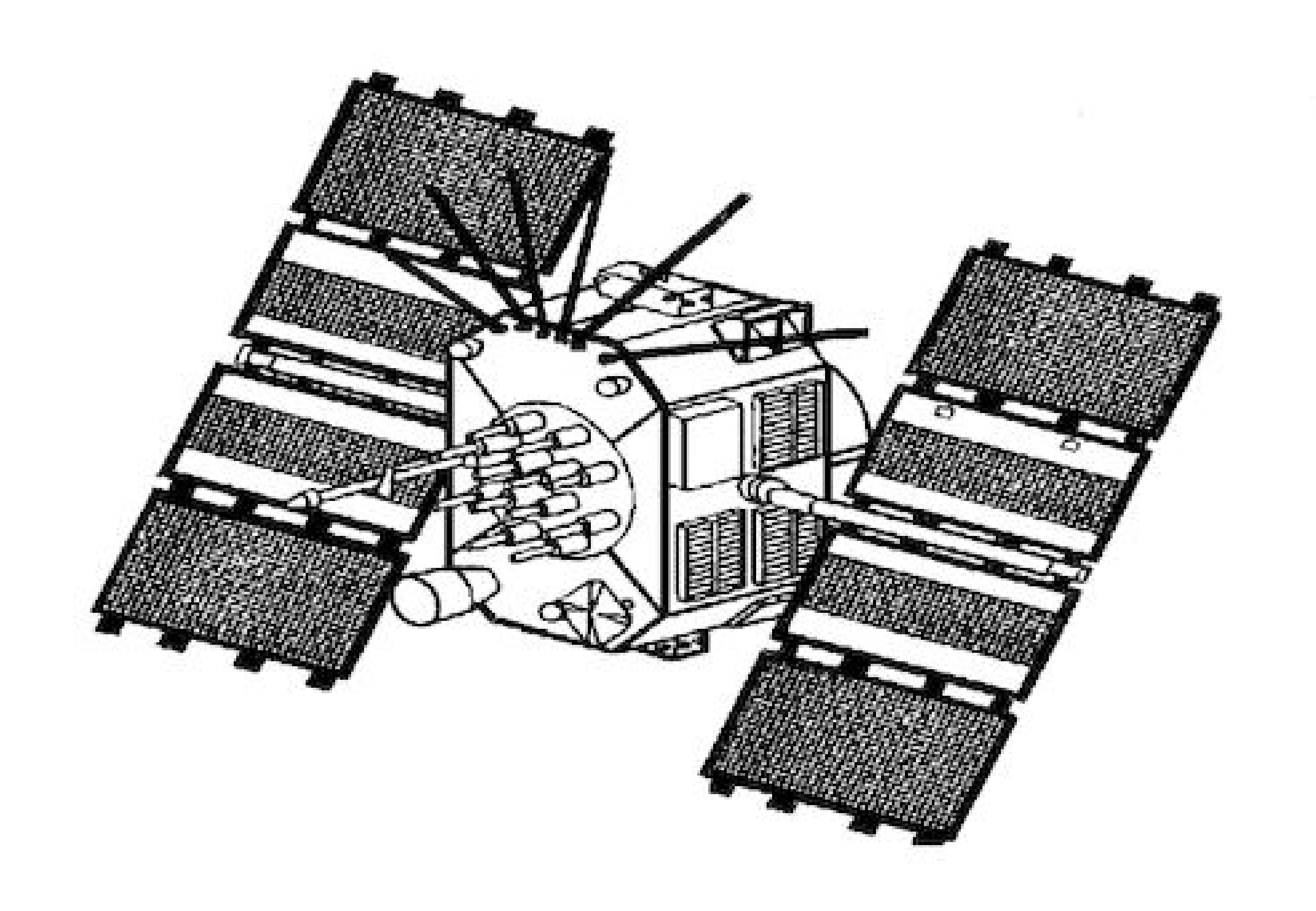
إن إحدى الصعوبات عند التعامل مع مسائل التحسين التوافقي هي إمكانية تحديد موقع المثالية المحلية. وهكذا فإنه من المستحيل غالباً إيجاد المثالية العظمى. تقوم طريقة البحث المحلي المتقارب (LSD) بتنفيذ عمليات بحث عمياء (Blind Search) حيث تختار فقط بشكل متعاقب (Sequentially)

برنامج تنظيم العمل الحقلي الذي ينتج تخفيضات في قيمة الكلفة وذلك دون أن تستخدم أي من المعلومات التي تمَّ تجميعها في أثناء سير عملها. تعتمد هذه الطريقة بشكل كبير على البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي الذي تمَّ اختياره، والشكل الإنشائي لإنتاج مجموعة برامج تنظيم العمل الحقلي البديلة والمجاورة.

عرض الشكل 3.2 الفضاء البحثي مع المثالية ذات الحدود الصغرى والعظمى. إذا صادفت طريقة البحث المحلي المتقارب واحدة من القيم المثالية ذات الحدود الصغرى فمن الممكن أن تبقى عندها. وبالتالي، ستكون طرق البحث الموجهة مرغوبة لتوجيه عمليات البحث المحلية وتجنب الوقوع في مطبات المثالية المحلية. إن طرق التلدين التجريبي والبحث المحظور توجه عمليات البحث نحو مناطق أكثر واعدة (More Promising Regions) باستخدام معلومات جزئية عن المجال البحثي للمسألة وحول طبيعة الهدف. تتمتع هذه الطرق بالقدرة على الخروج من مطبات الحد الأدنى المحلي (Local Minimum) والتوجه للحصول على الحد الأدنى الأعظمي (Global Minimum). إن هذه الطرق التقريبِّية المطوَّرة والمطبَّقة في هذه الدراسة تجمع بين استراتيجيات مختلفة بهدف السماح لاستمرار عمليات البحث إلى ما بعد المثالية المحلية لطريقة البحث المحلي المتقارب.

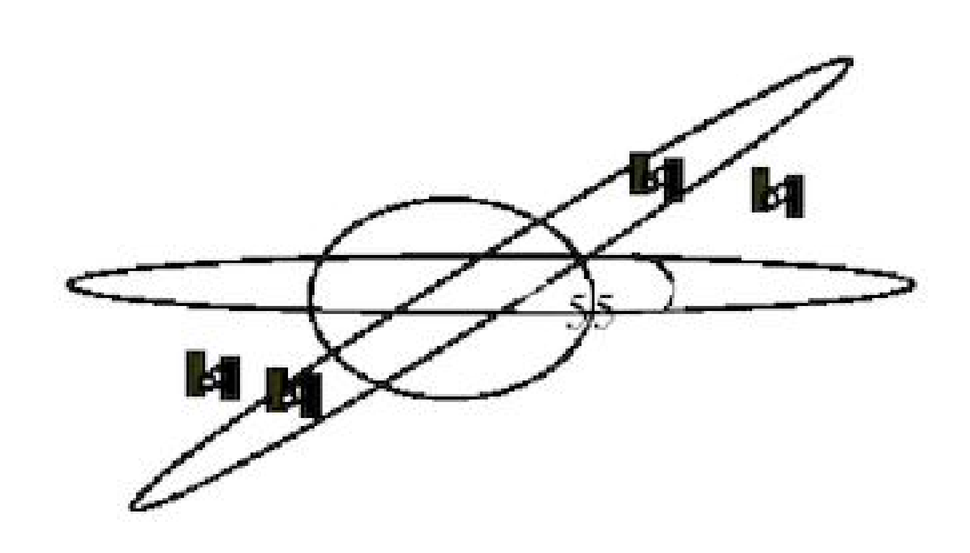
5.2 النظام العالمي لتحديد المواقع الاحداثية (الجي بي اس)

تم استخدام الجي بي اس منذ عام 1973 للأغراض العسكرية بهدف الاستطلاع والمراقبة من قبل وزارة الدفاع الأمريكية وأصبح متاحاً للاستخدامات المدنية منذ بداية الثمانينات. يتكون هذا النظام من 24 قمراً صناعياً يدور حول الكرة الأرضية بارتفاع تقريبي قدره 20كم كما هو مبين في الشكل 5.2. تشكل كل أربعة أقمار سوية مداراً إهليلجياً (Orbit)ذا ميل زاوٍ عن الأفق مقداره 55 درجة (Orbital Inclination) كما هو مبين في الشكل 5.2. وبالتالي توجد ستة مستويات مدارية متباعدة عن بعضها البعض بشكل متساوٍ تحيط بالكرة الأرضية (الشكل 1.2).



الشكل 5.2 هيكل القمر الصناعي المستخدم في نظام الجي بي اس

يؤمن الجي بي اس لمستخدمي الجو والأرض والبحر السهولة بتحديد السرعة والزمن والاتجاه والموقع ذي الإحداثيات الثلاث بدقة عالية جداً وعلى مدار ال-24 ساعة وفي كل الأحوال الجوية وعلى أي مكان من الكرة الأرضية (Leick, 1995 و(Saleh, 1996). إضافة لما ذكر آنفاً، يمتلك الجي بي اس تأثيرات فعالة على كل المجالات الهندسية والجيوفيزيائية والاتصالات اللاسلكية والأغراض الملاحية بكل أنواعها البحرية والجوية والأرضية وخصوصاً على (جي أي اس) (Geographical Information System GIS) نظام المعلومات الجيوغرافية الذي يتطلب إطار دقيق من النقاط الهيكلية الجيوديزية المحلية والعالمية لتأمين المعلومات الجيوديزية اللازمة لتحديد أهداف ملاحية ومساحية وأمنية خاصة بالمصلحة العامة والخاصة بشكل سريع ومحدث.



الشكل 6.2 مقدار الانحراف الزاوي بين مدارات دوران أقمار نظام الجي بي اس.

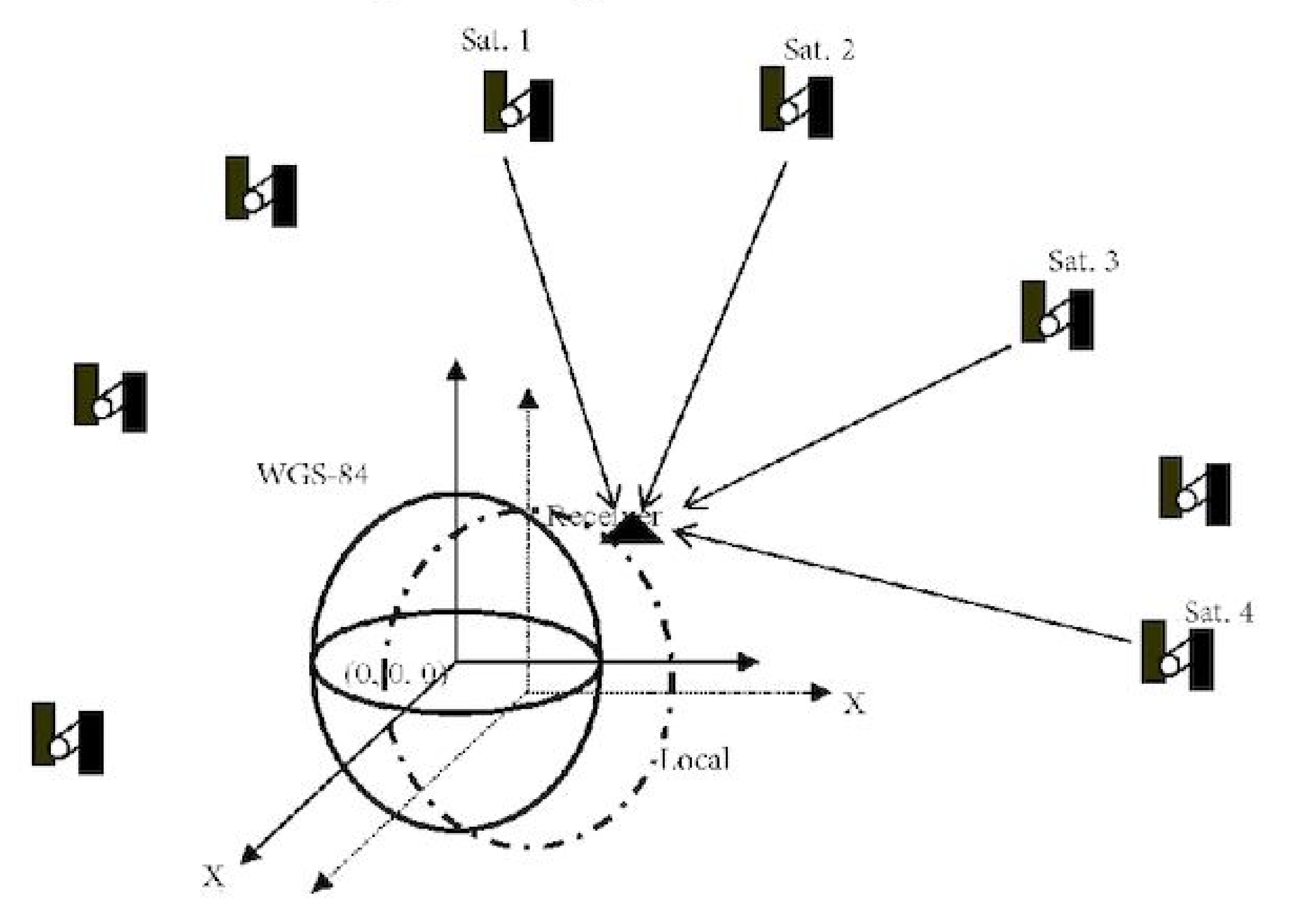
تقوم هذه الأقمار ذات المواقع المعروفة بدور النقاط الهيكلية الجيوديزية المرجعية (Satellite Reference Systems) بالنسبة لمواقع أجهزة الاستقبال الموجودة على الأرض (Local Reference Systems) والمطلوب تعيين إحداثياتها كما هو مبين في الشكل 7.2. تظهر الأهمية البالغة لنظام الجي بي اس في الأعمال الجيوديزية والمساحية الضخمة والصعبة وذلك من خلال 1) تصميم الشبكات الكبيرة التي تغطي مساحات شاسعة من سطح الكرة الأرضية. 2) سهولة إعادة رصد وتحديث هذه الشبكات بشكل متكرر وسريع. 3) تعيين المواقع الإحداثية والتغيرات الحاصلة بها بدقة متناهية جداً وخلال فترات رصد قصيرة وبمسافات طويلة جداً ودون الحاجة لتأمين شرط الرؤيا بينها والذي يعتبر أساسياً عند استخدام الطرق المساحية الأخرى.

6.2 قياس المسافات وتحديد المواقع باستخدام نظام الجي بي اس

ربما سائل يسأل كيف بالإمكان تحديد موقع ما بدقة على سطح الكرة الأرضية باستخدام هذه الأقمار البعيدة والموزعة في الفضاء ؟ وكيف بالإمكان معرفة مكان وسرعة هذا القمر المتحرك في أثناء إجراء عملية الرصد ؟ إن الجي بي اس نظام معقد جداً بتركيبه ولكن عملية الملاحة باستخدامه سهلة جداً وتعتمد على مبدأ قياس المسافات بين الأقمار ذات المواقع المعلومة وبين النقاط المجهولة المراد معرفة مواقعها على سطح الكرة الأرضية (Satellite Ranging) تقدر هذه المسافة بالفاصل الزمني الذي تستغرقه الإشارة المبثوثة من القمر الصناعي لكي تصل إلى هوائي جهاز الاستقبال المركز على النقطة المطلوب تحديد إحداثياتها. إن مهمة جهاز الاستقبال (Receiver) قياس زمن بث الإشارة من القمر وزمن وصولها إليه محدداً بذلك زمن الرحيل (Travel Time Tv) المتكون من عدد الأمواج أو بمعنى آخر العدد الصحيح للدوائر الزمنية المتشكلة بين القمر وهوائي جهاز الاستقبال. من السهولة جداً تحديد المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال بمعرفة زمن وسرعة هذه الإشارات وأبسط مثال على ذلك إذا كانت سرعة السيارة 100 كم في الساعة ويلزم عشر ساعات لقطع المسافة بين مدينتي دمشق والقاهرة. فما هي المسافة بين هاتين المدينتين؟

باستخدام المعادلة الأساسية : السرعة (100 كم في الساعة) * الزمن (10 ساعات)= المسافة المقطوعة (1000 كم) وباعتماد هذا الأسلوب البسيط جداً في تعيين المسافات بشكل عام، تحسب المسافة بين القمر الصناعي المتحرك في الفضاء وجهاز الاستقبال الموجود على الأرض وذلك بضرب زمن الرحيل بسرعة الضوء (Speed of Light) وفقاً للمعادلة الآتية:



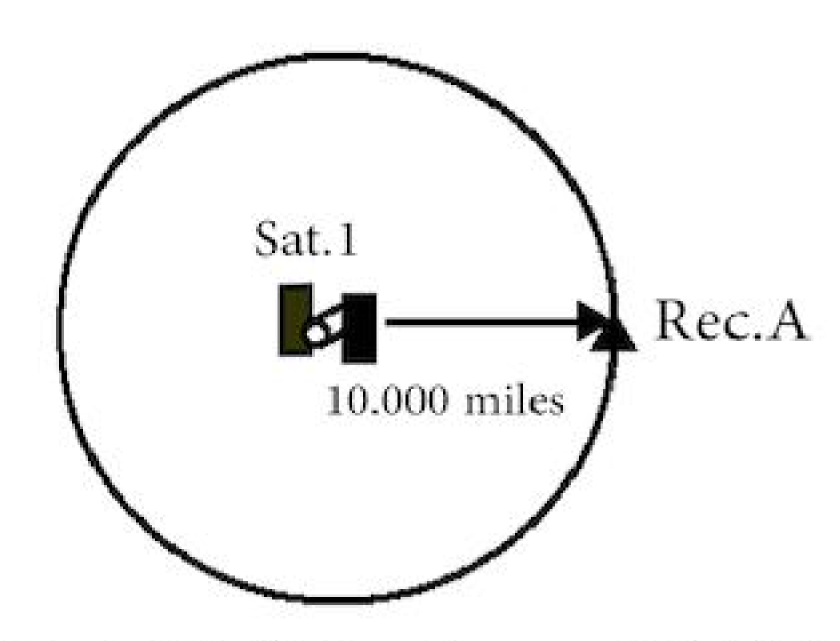


الشكل 7.2 سطوح المقارنة لكل من الكرة الأرضية ونظام الجي بي اس وعملية تحويل القياسات بينهما.

من المتعارف عليه إن الإشارات المبثوثة من القمر الصناعي ترحل بنفس سرعة الضوء (186،000 miles per second). لتحديد أي موقع بدقة فأنه يلزم على الأقل ثلاثة أقمار متباعدة وموزعة بشكل متباين في الفضاء بالنسبة لموقع جهاز الاستقبال كما هو مبين في الشكل 6.2 . تتلخص عملية تحديد الموقع باستخدام الجي بي اس وباعتماد المبدأ المذكور سابقاً بالخطوات الآتية:

الخطوة الأولى:

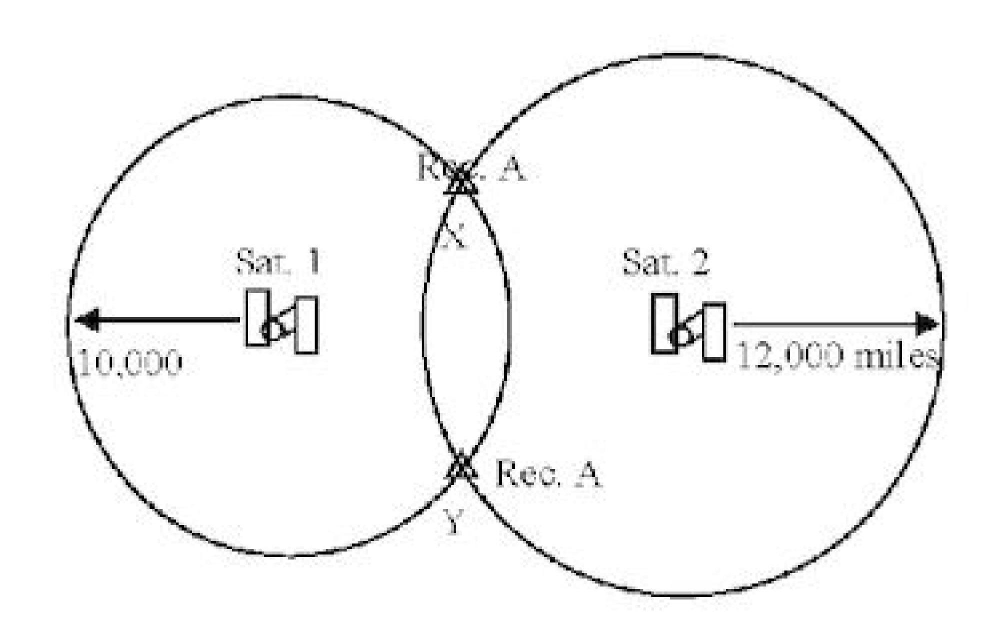
يبين الشكل 8.2 موقع جهاز الاستقبال (Rec. A) المتواجد على مسافة معينة مقدارها 10000 ميل من القمر الصناعي (Sat. 1). وبالتالي تم تحديد المجال إلى درجة يمكن القول إن موقع هذا الجهاز يقع على دائرة مركزها القمر الصناعي ونصف قطرها 10000م.



الشكل 8.2 تحديد موقع جهاز الاستقبال باستخدام قمر واحد.

الخطوة الثانية:

يبين الشكل 9.2 موقع جهاز الاستقبال (Rec. A) المتواجد بآن واحد على مسافة معينة مقدارها 10000ميل من القمر الصناعي (Sat. 1) و12000 ميل من القمر الصناعي (Sat. 2). بهذا التقاطع تم تحديد مجال جهاز الاستقبال (Rec.A) بشكل أدق من المجال المذكور بالخطوة الأولى لأنه يوجد احتمالين فقط لموقع هذا الجهاز على الكرة الأرضية محدد بتقاطع دائرتين قطرهما 10000ميل و12000 ميل عند النقطتين X،Y .

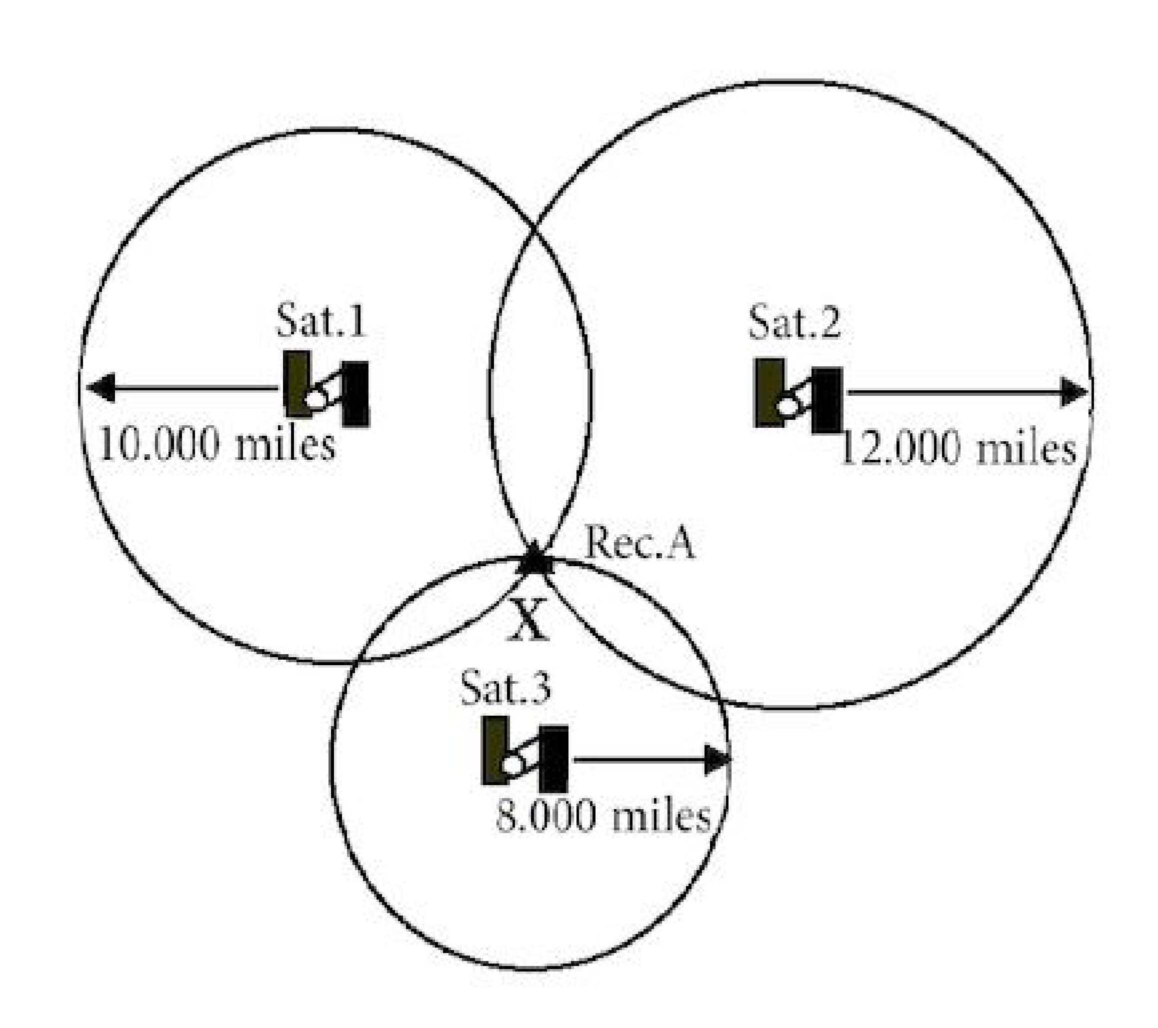


الشكل 9.2 تحديد موقع جهاز الاستقبال باستخدام قمرين.

الخطوة الثالثة:

يبين الشكل 10.2 موقع جهاز الاستقبال (Rec. A) المتواجد بآن واحد على مسافة معينة مقدارها 10000 ميل من القمر الصناعي (Sat. 1) و12000 ميل من القمر الصناعي (Sat. 2) و8000 ميل من القمر الصناعي (Sat. 3) . بهذا التقاطع تم تحديد مجال جهاز الاستقبال (Rec.A) بشكل محدد ودقيق جداً من المجالين المذكورين بالخطوتين الأولى والثانية لأنه يوجد احتمال واحد فقط لموقع هذا

الجهاز على سطح الكرة الأرضية محدد بتقاطع ثلاث دوائر أقطارهم على التوالي 10000ميل و12000 ميل و8000 ميل عند النقطةX.



الشكل 10.2 تحديد موقع جهاز الاستقبال باستخدام ثلاثة أقمار.

ينسب الجي بي اس كل القياسات المرصودة والمعلومات الخاصة به إلى منسوب مرجعي ثابت (Datum) يدعى الإطار الجيوديزي العالمي لعام 1984 (World Geodetic System of 1984 WGS-84) ولكن المطلوب معرفة إحداثيات هذا الموقع على الكرة الأرضية (Local)كما هو مبين في الشكل 7.2. تقدر دقة الإحداثيات المركزية للإطار المرجعي للجي بي اس (Geocentric Co-Ordinate) بقيمة 0,5م مكونة بذلك أفضل هيكل كروي مناسب ومطابق لشكل الكرة الأرضية. يتم تعيين الإحداثيات المحلية لموقع ما على الكرة الأرضية بإجراء سلسلة من عمليات التحويل على الإحداثيات المرصودة بالجي بي اس باستخدام المعادلة الآتية:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \text{Local} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + R \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \text{WGS 84}$$

باعتبار :

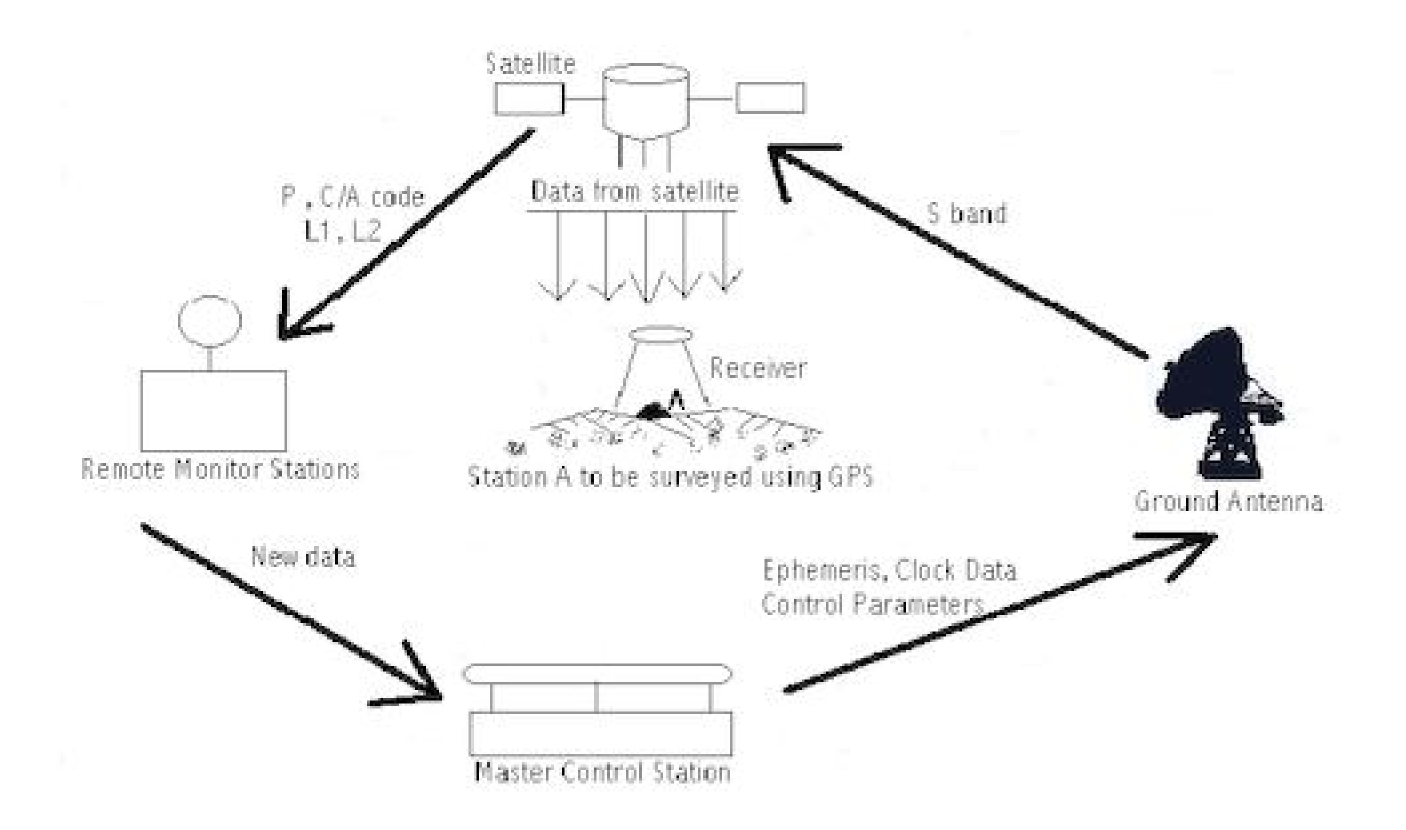
R : وهي عبارة عن مصفوفة الدوران التي تتضمن قيم الدوران الزاوي

اللازمة لمحاور الجملة الإحداثية المحلية (Local Reference System) لتنطبق على محاور الجملة الإحداثية لنظام الجي بي اس (Satellite Reference System).

عوامل التحول المتضمنة (Transformation Parameters) $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ قيم انزياح محاور الجملة الإحداثية للإطار المحلي لكي تنطبق على المحاور الإحداثية لإطار الجي بي اس. إن قيم هذه العوامل معلومة وخاصة بكل دولة فمثلاً قيم الانزياح التقريبية لإحداثيات الشبكة الجيوديزية لجمهورية ألمانية (ΔX= 583م, ΔY= 68,2م, ΔZ =394, 6م)، أما إحداثيات الشبكة الجيوديزية لبريطانيا فهي: (ΔX= 370م, ΔY= -111م, ΔZ =431م). للحصول على دقة عالية في الإحداثيات فأنه من الأهمية البالغة استخدام عوامل التحول المحدثة باستمرار لتفادي وجود أي أخطاء متراكمة قديمة. بمعرفة قيم هذه العوامل فانه من السهولة تعويضها في المعادلة المذكورة أعلاه للحصول على إحداثيات الموقع منسوباً إلى الإطار المحلي.

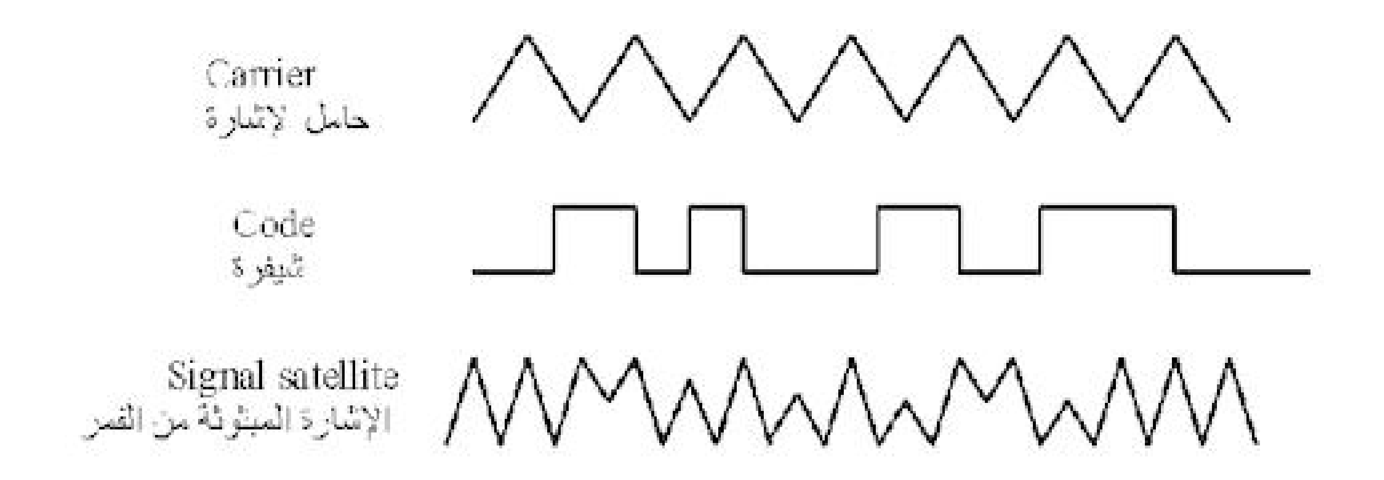
7.2 قطاع التحكم العملياتي لعمل نظام الجي بي اس (Operational Control Segment OCS)

تبث الأقمار الصناعية وهي في حالة دورانها المستمر إشارات إلكترونية تحت تأثير قطاع متحكم من الترددات الثابتة والدقيقة إلى الأرض. تتمثل مهمة هذا القطاع كما هو مبين في الشكل 2.11 :1) مراقبة وضبط عمل هذه الأقمار والكشف عن أعطالها بشكل مستمر ومبكر، 2) تعيين زمن مقاتيات الأقمار، 3) التنبؤ عن مواقع مدارات الأقمار وتعيين زمن مقاتياتها، 4) التحديث المستمر للمعلومات الملاحية المبثوثة والإبلاغ الفوري عن الأقمار المعطلة إلى محطات المراقبة الأرضية.



الشكل 11.2 مركبات القطاع الضابط لعمل أقمار الجي بي اس.

تستخدم أقمار الجي بي اس ميقاتيات صغيرة جداً (Atomic Clocks) ونطاقين من الترددات النظامين (Frequency Bands) في عملية بث الإشارات التي تتضمن المعلومات الضرورية لتنفيذ عملية الملاحة والمتمثلة: 1) زمن وموقع كل قمر بالنسبة للمدار الخاص به (Ephemeredes or Orbital Position)، 2) التصحيحات الزمنية لميقاتياتها،3 (Correction to their Clocks)) والمواصفات العامة للتقويم الزمني على المدى الطويل لكل مدارات الأقمار الصناعية (General Almanac). تنقل هذه الإشارات على نوعين من الأمواج (Carrier frequencies) وبتردد أساسي مقداره (10.23 MHz) (الشكل 12.2).



الشكل 12.2 شكل الإشارة المبثوثة مع الحامل والشيفرة (from Seeber, 1993).

تبلغ أبعاد هذه الأمواج كما يلي :

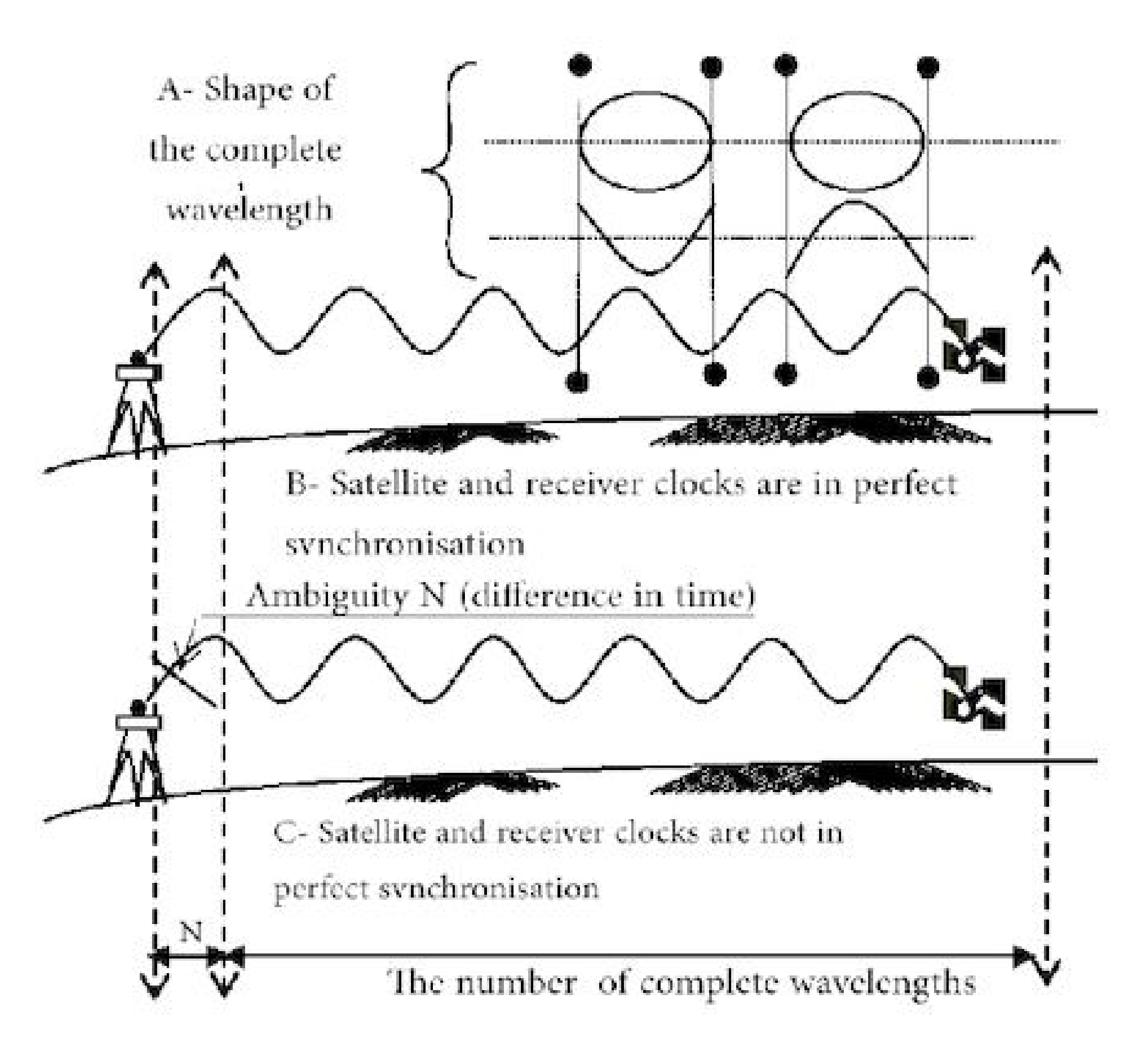
1) الموجة الأولى (19.05 cm) L1=154*10.23=1575.42 MHz

2) الموجة الثانية(L2 =120*10.23=1227.60 MHz (24.45 cm

تم تشفير هذه الترددات بنوعين من الشفرات الخاصة (codes) كما يلي:

1) الشفرة الدقيقة المحملة على الموجة Precise code L1)، P code=10.23 MHz)

2) الشفرة المشوشة المحملة على الموجة (Coarse=L2 1.023 MHz) Acquisition code, C/A



الشكل 13.2 تشكل التباين الزمني (Ambiguity)

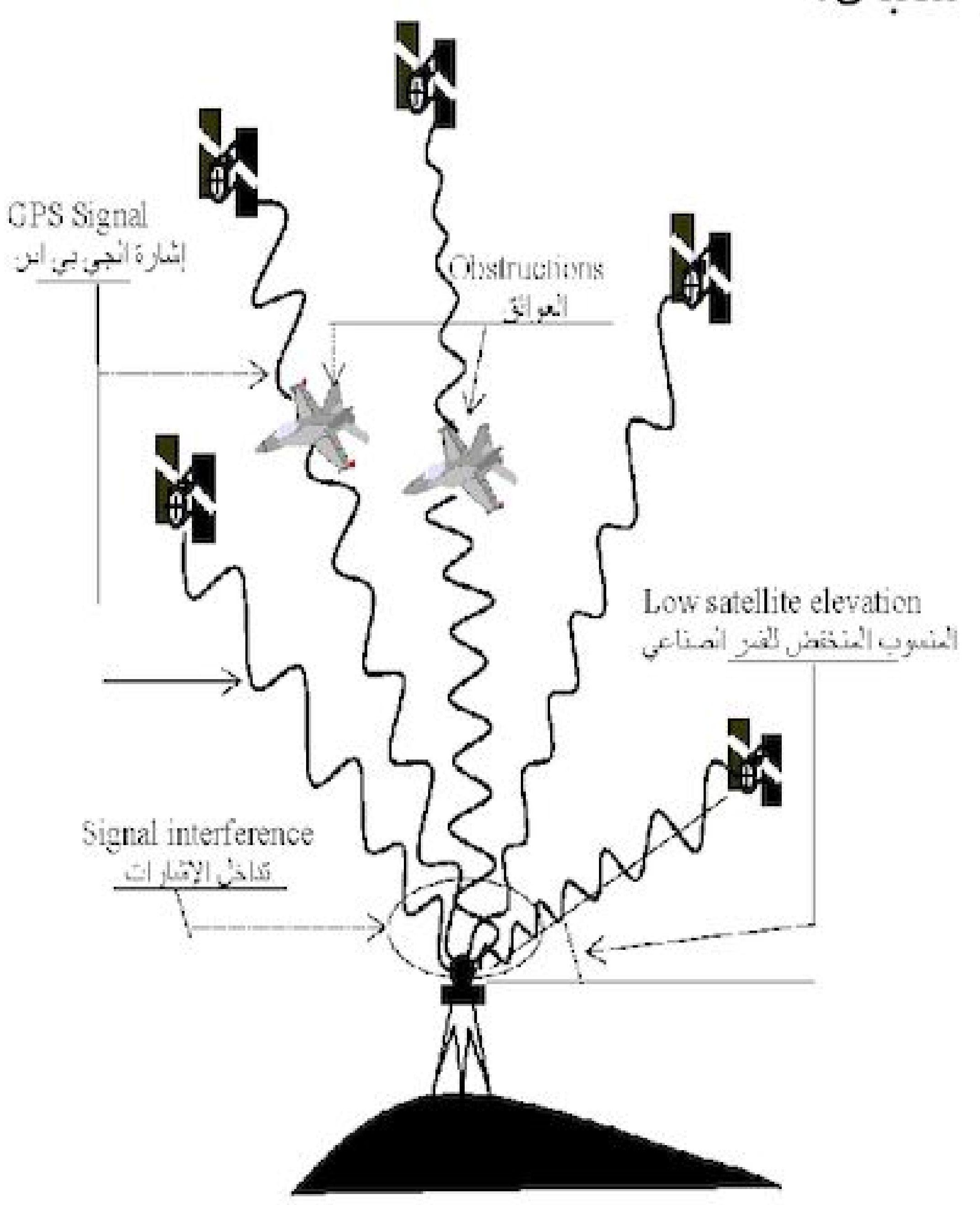
يقوم جهاز الاستقبال بتلقي الإشارات وحل الشيفرة محدداً بذلك زمن وصولها إليه. إذا تزامنت ميقاتية جهاز الاستقبال مع ميقاتيات الأقمار فإن رصد ثلاثة أقمار ذات مواقع متباينة كافية لتحديد الإحداثيات الثلاثية لموقع جهاز الاستقبال. لكن في الحالة العملية يلزم رصد أربعة أقمار لحذف تأثير التباين الزمني غير المعلوم والموجود بين هذه الميقاتيات نتيجة عدة عوامل مؤثرة خارجية وداخلية (انظر إلى الفقرة التالية المتضمنة العوامل المؤثرة على دقة الجي بي اس). لتعيين قيمة هذا المقدار الزمني المجهول (Ambiguity) والذي يأخذ الرمز (N) كما هو مبين في الشكل 14.2 (B,C) فأنه من الضرورة رصد قمر

رابع . يتشكل أيضاً هذا التباين الزمني المذكور آنفاً عندما يفقد جهاز الاستقبال اتصاله (الإرسال اللاسلكي) بشكل مفاجى مع قمر أو أكثر في حين يظل على اتصال مع الأقمار الأخرى التي لا يتجاوز عددها عن أربعة وتسمى هذه العملية بانخفاض الموجة (Cycle Slips) كما هو مبين في الشكل 13.2. تعزى أسباب فقدان هذا الاتصال إلى:

(1) مرور طائرة بين القمر وجهاز الاستقبال مشكلة بذلك حاجز مادي وانقطاع مفاجى في عملية الإرسال.

(2) تواجد القمر الصناعي على مستوى منخفض من مستوى مجال عمل جهاز الاستقبال.

(3) تراكب وتداخل الأمواج الحاملة للإشارات فيما بينها عند هوائي جهاز الاستقبال.



الشكل 14.2 أسباب تشكل الانخفاض الزمني في الإشارة المبثوثة.

تتجاوز قيمة هذا الانخفاض الزمني في بعض الحالات إلى ملايين من الدوائر الزمنية أو عدة دوائر وأحياناً نصف دائرة (180 درجة) وذلك تبعاً لنوعية

وحجم العوائق (Seeber 1993). توجد عدة طرق رئيسية لمعالجة هذا التباين الزمني في عدد الأمواج والذي يؤثر على دقة الجي بي اس:

الطريقة الهندسية (The Geometric Method).

طرق بحث عن الفارق الزمني (The Ambiguity Search Methods).

الطريقة التجميعية (التراكبية) لمجموعة حامل الموجة والشيفرة (The Combination of Code and Carrier Phase Observation).

الطرق التجميعية العامة (The Combined Methods).

الطرق الهيروستكية التقريبية (Heuristic Techniques).

تعتبر الطريقتين الأولى والثانية الأكثر استخداماً في حل مشكلة الفارق الزمني المتأصل في قياسات الجي بي اس وقد تم دراستهما بشكل تجريبي وعملي في مشروع الماجستير (Saleh, 1996). يتضمن هذا المشروع برنامج عملي مصمم بلغة الحاسب لإيجاد تأثيرات العوامل الخارجية والداخلية على دقة الجي بي اس بطريقة المحاكاة (Simulation). أما الطريقة الأخيرة (Heuristic) فتدعى بالطرقة الهيروستكية أو التقريبية وتعتبر الأكثر حداثة في حل مسألة تكون هذا الفارق الزمني.

8.2 العوامل المؤثرة على دقة نظام الجي بي اس

تتأثر دقة قياسات الجي بي اس بعدة عوامل داخلية تتعلق بعدد ونوعية الأقمار الصناعية وكيفية توزيعها في السماء بالنسبة لجهاز الاستقبال، ونوعية أجهزة الاستقبال طبيعة القياسات المرصودة وبعوامل خارجية تتعلق بالأمواج الحاملة للإشارات المبثوثة (Elliott, 1996) كما هو مبين في الشكل 15.2:

(1) تأثير طبقات الغلاف الجوي المحيط التربوسفير والاينوسفير (Ionosphere And Troposphere).

(2) وشوشات في أجهزة الاستقبال (Receiver Noise).

(3) أخطاء غير المتنبأ بها في شيفرة الأقمار الصناعية (Ephemeris).

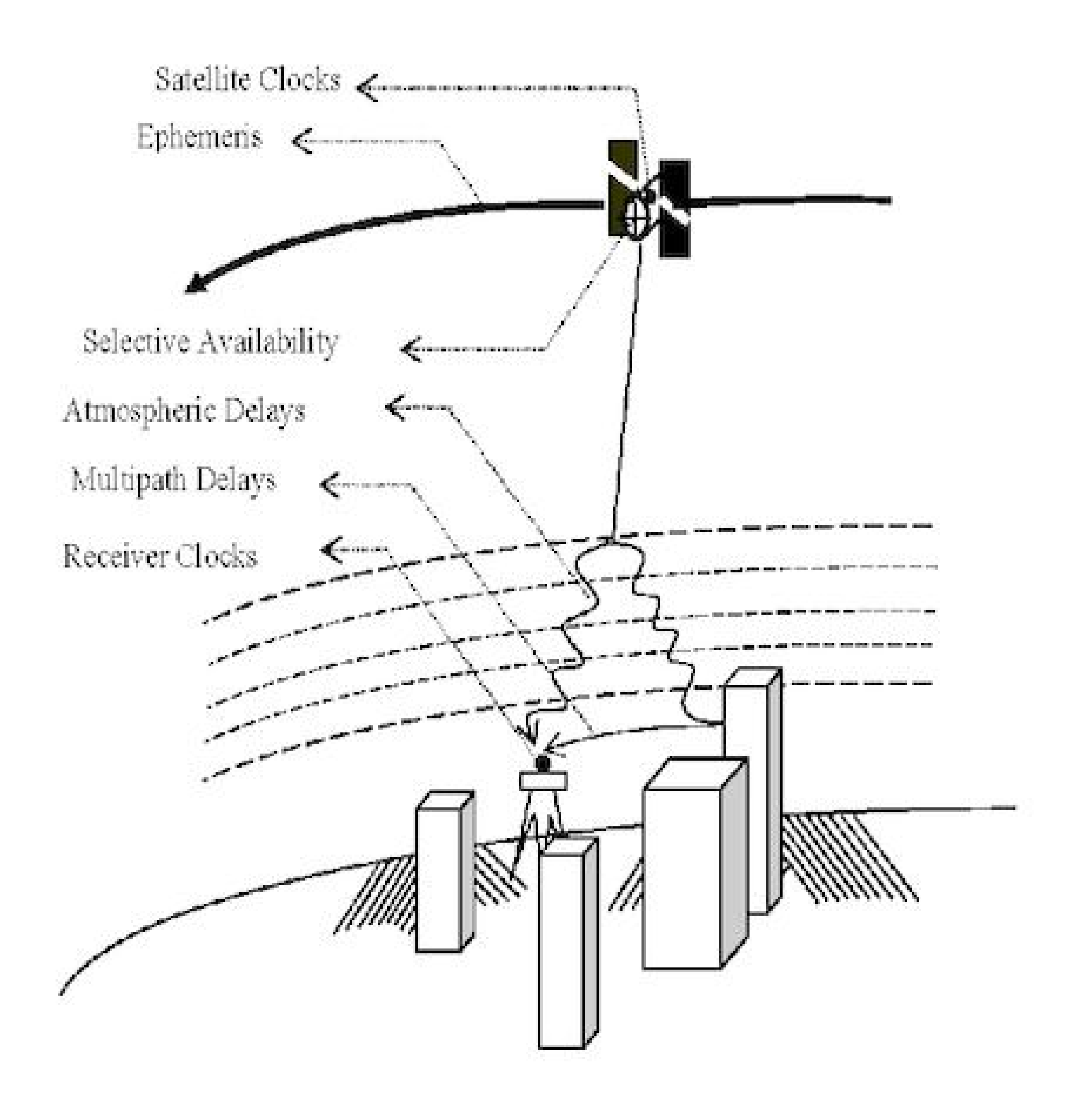
(4) الانعكاسات المحلية المتداخلة للإشارات المبثوثة المحيطة بجهاز

الإرسال(Multipath).

(5) مقدار التشويش المتعمد من قبل العسكرية الأمريكية (Selective Availability).

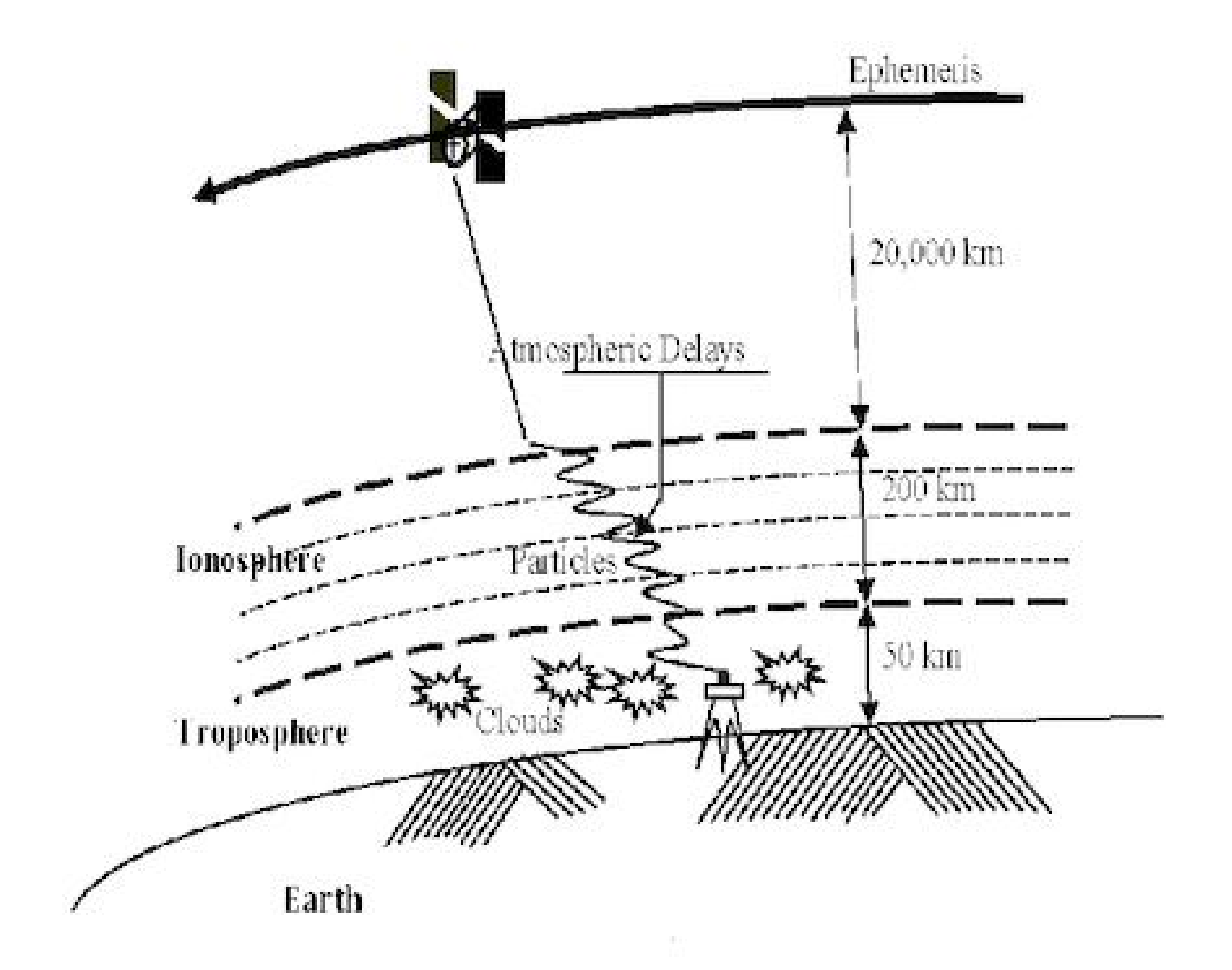
1- تأثير العوامل الجوية المحيطة (The Atmospheric Effect):

تتأثر سرعة الإشارات بالعوامل الجوية المتمثلة بالطبقة العليا والسفلى للغلاف الجوي الايونوسفير (Ionosphere)والتربوسفير (Troposphere).



الشكل 15.2 مصادر الأخطاء في نظام الجي بي اس.

إن جزئيات الايونوسفير وبخار الماء في التربوسفير تسبب في تأخير سرعة الإشارات وبالتالي على دقة الموقع المراد تحديده. تستخدم أجهزة الاستقبال المتطورة عوامل تصحيح آنية خلال إجراء عملية القياسات ولكن باعتبار إن المناخ الجوي متغير من نقطة إلى أخرى ومن لحظة إلى أخرى فانه من الصعوبة تأمين عوامل التصحيح المناخية المناسبة التي تعوض التأخير الحاصل في سرعة الإشارات.



الشكل 16.2 تأثير الغلاف الجوي.

2-- تأثير جهاز الاستقبال (Receiver Effects) :

إن المهمة الأساسية للأجزاء الداخلية الإلكترونية لجهاز الاستقبال التقاط تجميع وتنقية وتحليل الإشارات المبثوثة بغية تأمين المعلومات الضرورية لتنفيذ عملية الملاحة بنجاح. يتأثر عمل هذه الأجزاء الحساسة بعدة عوامل خارجية وداخلية أهمها:

1) التغير الشاقولي لمركز مجال هوائي جهاز الاستقبال (Antenna Phase Center) تبعاً لمستوى ارتفاع القمر (Satellite Elevation)، وقوة الإشارة وتأثير تعدد مجازاتها في جوار الهوائي (The Signal Strength And The Multipathing).

2) انقطاع وصول الإشارات المستمر.

3) عدم استقرار الميقاتيات الداخلية (Receiver Clocks) واهتزاز نوابضها تبعاً للعوامل الخارجية كالرياح وحركة الأرض بجوار جهاز الاستقبال. لهذا يفضل تركيز الجهاز على أرض ثابتة وبشكل محكم.

3-- أخطاء الأقمار الصناعية (Satellite Errors):

أن للدقة البالغة لمواقع الأقمار الصناعية في الفضاء أهمية عظيمة باعتبارها

النقاط البدائية المرجعية لعملية الحساب والقياس ولهذا فإن ضبط مقاتيات الأقمار الصناعية (Satellite Clocks) وحركة مسار هذه الأقمار ضمن مدارات إهليلجية ثابتة وغير متأثرة بالتقلبات المناخية المحيطة مع المراقبة المستمرة لها هو عامل مهم جداً. بالنسبة لأخطاء الشيفرة الفضائية (Ephemeris)، فإن هذه الشيفرة تتضمن جميع المعلومات الخاصة بمواقع الأقمار الصناعية في الفضاء والتي بموجبها يحدد جهاز الاستقبال إحداثياته على سطح الكرة الأرضية. لهذا من الضروري المراقبة المستمرة لمواقع هذه الأقمار وإجراء التصحيحات اللازمة عليها.

4-- تأثير تعددية مسار الإشارات (Multipath Effect):

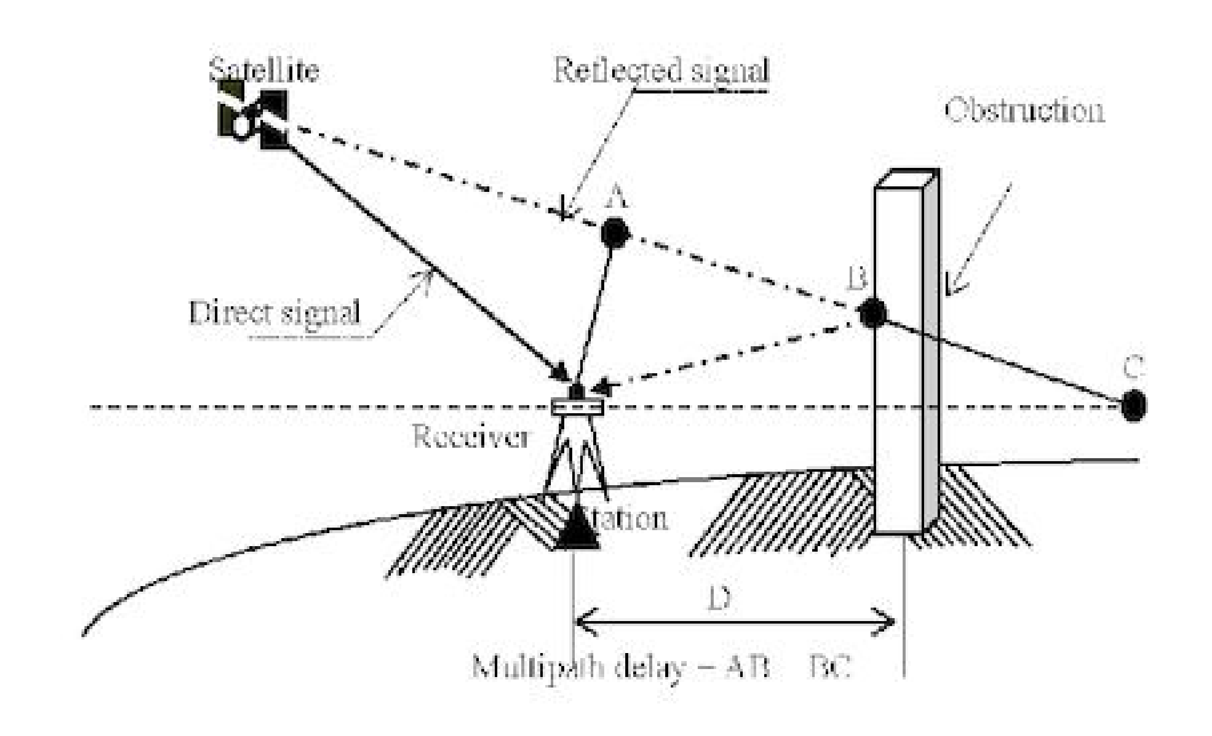
تنحرف الإشارات المبثوثة عن مسارها المباشر عند اقترابها من سطح الكرة الأرضية وتصل إلى هوائيات أجهزة الاستقبال عبر مسارات متعددة (مباشرة وغير مباشرة) بسبب وجود بعض العوائق المحيطة بأجهزة الاستقبال كالأبنية وغيرها ويسمى الخطأ الناتج عن هذا التأثير بالخطأ المتعدد المجازات كما هو مبين في الشكل 17.2. يحدث هذا الخطأ عندما يستقبل الهوائي الإشارة المباشرة في البداية (لان الممر المباشر دائما أسرع) ومن ثم تصل الإشارات المنعكسة متأخرة بعض الشي وهذا ما يؤدي إلى تداخل وتراكب الإشارات المتأخرة مع الإشارة المباشرة مسببة وجود نتائج غير صحيحة في إحداثيات موقع جهاز الاستقبال. يعتبر تأثير تعددية مجاز الإشارات من أهم الأخطاء المؤثرة على دقة الجي بي اس لصعوبة تحديده وتغيره من فترة إلى أخرى بسبب الدوران المستمر للأقمار. كمثال واقعي يومي على هذا الخطأ يمكن أن يلاحظ في أجهزة التلفاز عندما تظهر خيالات متعددة للصورة الأصلية على الشاشة بسبب أن الإشارة المبثوثة من المحطة الرئيسية قد تأخذ أكثر من ممر لتصل إلى هوائي التلفزيون وبالتالي تظهر عدة صور متراكبة فوق بعضها البعض في نفس الوقت. لتجنب هذا الخطأ بشكل عملي فأنه يفضل وضع جهاز الاستقبال في مكان مكشوف وخال من العوائق.

5-- التأثيرات المتعمدة (Selective Availability):

يعتبر هذا التأثير المتعمد والموضوع من قبل وزارة الدفاع الأمريكية

الأشد خطورة على دقة الجي بي اس من التأثيرات السابقة ويسمى بالتأثيرات المتاحة انتقائياً. إن الغاية الرئيسية من استخدام هذه التأثيرات المتعمدة منع أي جهة أخرى (باستثناء العسكرية الأمريكية) من العبث بدقة الجي بي اس أو الحصول على قياسات متناهية الدقة وتتمثل هذه التأثيرات: 1) إحداث بعض التشويشات (Noise) في مقاتيات الأقمار بغرض التقليل من دقتها. 2) بث ذبذبات (Erroneous Orbital Data) مترافقة مع الإشارات المرسلة للتأثير على دقة مواقع المدارات الإهليلجية لهذه الأقمار وبالتالي تؤدي إلى وجود بعض الأخطاء في الشيفرة المستقبلة (Ephemeris).

تتجلى فعالية هذه التأثيرات المتعمدة بوضوح في قياسات الجي بي اس المستخدمة في الأغراض المدنية، في حين يتم معالجة هذه التأثيرات في الأعمال العسكرية باستخدام أجهزة استقبال خاصة تحوي على برامج مخصصة لتحديد حجم هذه الأخطاء وكيفية التخلص منها. تم حذف هذا التأثير في أيار 2000 بناء على قرار الرئاسة الأمريكية وبالتالي لم يعد وجود لهذا التأثير المتعمد حالياً في نظام الجي بي اس.



الشكل 17.2 تأثير تعددية مسار الإشارة.

تؤثر الأخطاء المذكورة أعلاه رغم حجمها الصغير على دقة قياسات الجي بي اس الأساسي (Basic GPS) مع العلم إن بعض المواقع تتطلب دقة بالغة. لسوء الحظ ليس بالإمكان تحديد حجم الفرق في القياسات المتشكل من وجود الأخطاء المذكورة واستخدامه لتصحيح كل القياسات خلال إجراء عملية الرصد

لان أخطاء الأقمار الصناعية متغيرة باستمرار لهذا فأنه من الأهمية بمكان تقليل تأثير حجم هذه الأخطاء قدر المستطاع. إن الطريقة المتبعة في تحسين دقة الجي بي اس الأساسي وذلك بتقليل التأثيرات الخارجية والأخطاء المذكورة أعلاه يتم باستخدام الطريقة التفاضلية أو ما يعرف بالجي بي اس التفاضلي (Differential GPS) الذي يؤمن دقة قياسات جيدة تصل لبضعة المترات في التطبيقات المتحركة كالبواخر والسيارات وبشكل أفضل في الأوضاع الثابتة كالنقاط الجيوديزية والمساحية.

9.2 المبدأ التفاضلي لعمل النظام العالمي لتحديد المواقع الإحداثية وتطبيقاته العملية

تهدف فكرة نظام الجي بي اس التفاضلي (Differential Global Positioning System GPS) إلى حذف معظم الأخطاء الطبيعية والأخطاء المتسببة من قبل المستخدم والمؤثرة بشكل غير مباشر على عملية القياسات وذلك باستخدام جهازين استقبال أو أكثر بآن واحد (أحد هذه الأجهزة على الأقل ثابت) خلال عملية الرصد من بدايتها وحتى نهايتها. يدعى جهاز الاستقبال الموضوع على النقطة الثابتة ذات الإحداثيات المعلومة والمحسوبة مسبقاً بدقة متناهية جداً بالجهاز المرجعي (Reference Receiver)ومهمته مراقبة وتسجيل الأخطاء المتشكلة في قياسات أجهزة الاستقبال المتحركة(Roving Receiver) وتحديد حجمها الفعلي وتقدير تصحيحاتها ومن ثم تطبيقها على القياسات المرصودة آنياً (real-time position measurement) أو بعد الانتهاء من عملية الرصد. تنفذ عملية تصحيح القياسات في كافة التطبيقات المدنية بسرعة جداً تترواح من 2 إلى 30 ثانية. يتم حساب حجم هذه الأخطاء المتغيرة التأثير والتي يصعب التنبؤ عن حدوثها بمقارنة الإحداثيات الجديدة المرصودة بالجي بي اس مع الإحداثيات القديمة المرصودة بالطرق المساحية الأخرى لنفس النقطة (ومن هنا تأتي كلمة تفاضل). إن المفهوم التفاضلي لتصحيح قياسات الجي بي اس مستخدم بشكل عالمي في التطبيقات العلمية والصناعية ولهذا فانه توجد معدلات قياسية عالمية لإرسال واستقبال هذه التصحيحات تسمى البروتوكول . (IALA) International Association of Lighthouse Authorities

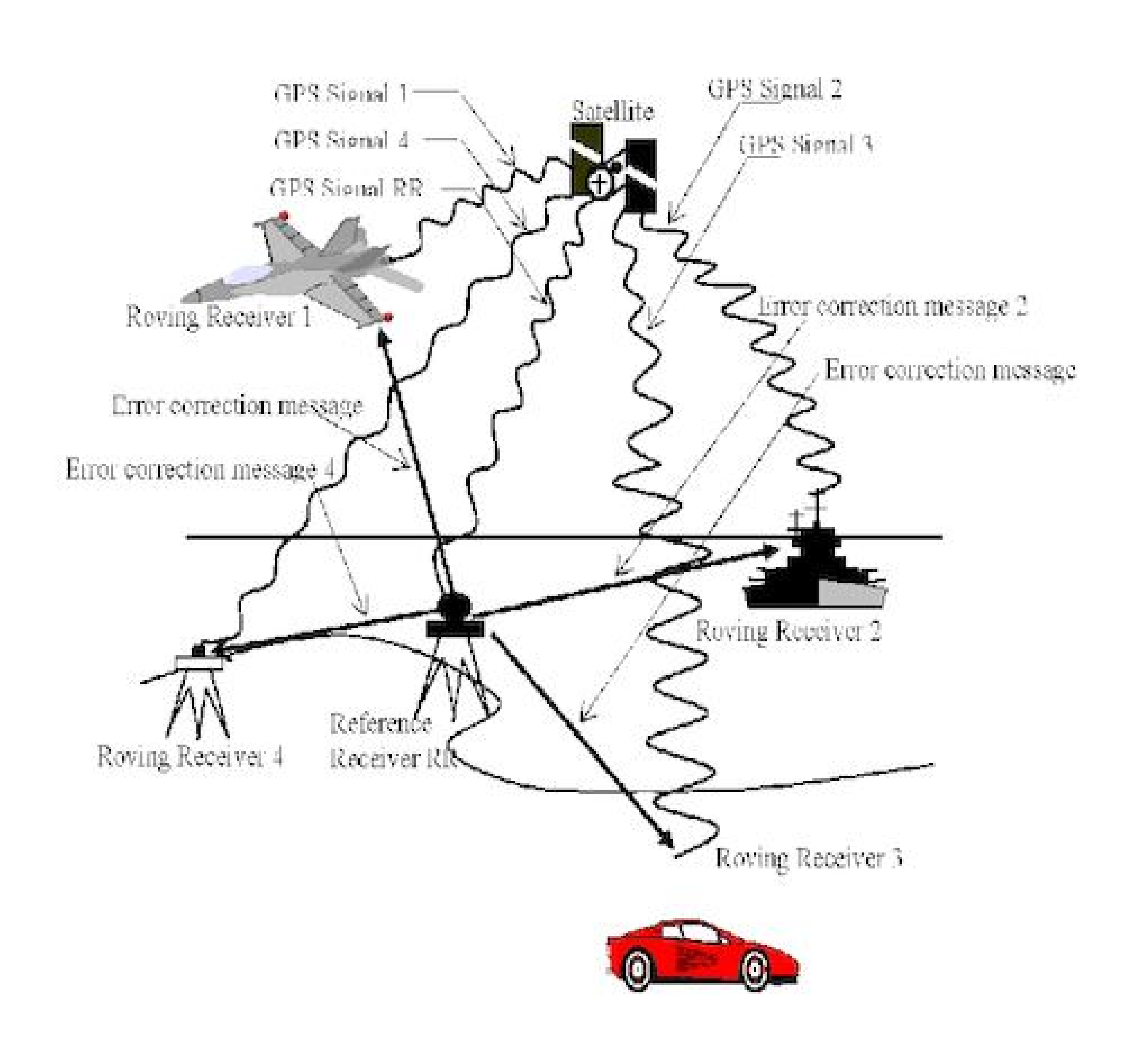
تعتبر عملية الرصد باستخدام الجي بي اس الأساسي مستقلة كون أن القياسات ترصد بأجهزة الاستقبال المتحركة وباستخدام الأقمار الصناعية كنقاط مرجعية لها، في حين تنفذ عملية الرصد في الجي بي اس التفاضلي بأجهزة الاستقبال المتحركة وباستخدام جهاز الاستقبال الثابت الذي يربط كل القياسات به كنقطة مرجعية.

استخدامات الجي بي اس:

يلعب نظام الجي بي اس دوراً مهماً في الملاحة البحرية وخاصة في أعمال الحماية والحراسة البحرية عن طريق تزويد كل المتطلبات الضرورية التي تتضمن عوامل الأمان والتنبؤ عن الأحوال الجوية وتأمين المسار الصحيح والسريع للسفينة في المناطق المزدحمة بالبواخر وتجنب صخور مداخل الموانئ في أثناء عبورها منه واليه وبالتالي تحسين عوامل الأمان وحماية البيئة البحرية بسبب توفير الوقود واستخدامه الجيد. يساعد الجي بي اس أيضاً في تناسق عمليات تصميم وصيانة الموانئ والمرافئ البحرية مع الخرائط المصممة لها وفي تعيين العمق الدقيق للمرافق ومراقبة معدل الرواسب المتراكمة وإزالتها من القاع بشكل فعال. بالنسبة لأعمال الطيران المدني يتجلى استخدام الجي بي اس في عدة عوامل: كمساعدة الطائرات بالهبوط السليم في حال الرؤيا الصعبة دون اللجوء لاستخدام أشعة المتابعة التقليدية ذات الكلفة الباهظة وغير المتوفرة إلا في المطارات الضخمة، تسهيل عملية الملاحة الجوية مع الازدياد المتحسن لعوامل أمان الطائرات والاقتصاد العالي لاستهلاك الوقود والاستخدام الجيد لممرات العبور الجوية، تأمين طريقة مرنة ودقيقة لعمل نقاط وسائل تحكم الطائرات وحركات مركبات الخدمة الأرضية بين الطائرات في أثناء عمليات الهبوط والإقلاع، تنظيم جدولة الرحلات الجوية الكثيفة بدقة وفي الوقت المناسب.

في مجال تنظيم عمل المصادر الطبيعية تطورت عمليات تنظيم الموارد الحيوية بشكل كبير باستخدام الجي بي اس وأصبحت أكثر سهولة ودقة من السابق: كرسم خرائط ممرات المناجم وأحواض التخزين المائية ومناطق صيد الأسماك، إمكانية تنفيذ كثير من الأعمال المتكررة والضرورية بشكل أتوماتيكي كصيانة الخرائط الدقيقة وتطوير عمليات الحماية والخدمة، السهولة البالغة

برصد طرق جديدة في الغابات الضخمة التي تتطلب عمل كبير جداً لامتدادها الكبير وصعوبة الأرض الطبوغرافية، السرعة في تنظيم وإيقاف زحف حرائق الغابات عن طريق استخدام طائرات الهيليكوبيتر المزودة بأجهزة الجي بي اس التي تقوم بالطيران السريع وأخذ القياسات المساحية بدقة متناهية حول محيط المنطقة المحروقة منتجة خريطة دقيقة لحجم الحريق تفيد في تأمين العدد اللازم لرجال الإطفاء وإرشادهم إلى المكان الصحيح للمنطقة المحروقة. أما في مجال الأعمال الزراعية تتجلى فعالية الجي بي اس في حماية البيئة عن طريق تنظيم رحلات الطائرات الزراعية التي تغطي المنطقة الواجب رشها بالبذور بدقة جيدة وتصميم الخرائط الخاصة بأحوال التربة لتعيين كمية المواد الكيميائية المناسبة وتحديد معاييرها النظامية اللازمة لعمليات تغذية التربة بدقة بالغة.



الشكل 18.2 الجي بي اس التفاضلي (Differential GPS).

تقوم محطات التقوية الثابتة (Marine Radio Beacons) والمنتشرة على كافة السواحل العالمية بتدعيم عمل الجي بي اس عن طريق بث واستقبال الإشارات وإجراء التصحيحات الفورية عليها. باعتبار إن هذه التصحيحات متوفرة بشكل حر وبالتالي فلا حاجة لجهاز استقبال ثانٍ لتنفيذ عملية الرصد التفاضلي لان أقرب محطة ثابتة سوف تقوم بالعمل وكأنها جهاز استقبال آخر.

يلعب نظام الجي بي اس التفاضلي دوراً مهماً في الملاحة البحرية وعلى الأخص فيما يتعلق بأعمال الحماية والحراسة البحرية (The Coast Guard) وذلك:

1) بتزويد كل المتطلبات الضرورية التي تتضمن عوامل الأمان.

2) التنبؤ عن الأحوال الجوية وتأمين عوامل الإنقاذ في حالة الطوارى.

3) إبقاء السفينة على مسارها الصحيح والسريع في المناطق المزدحمة بالبواخر الأخرى وتجنب صخور مداخل الموانئ في أثناء عبورها منه واليه وبالتالي تحسين عوامل الأمان وحماية البيئة البحرية بسبب توفير الوقود واستخدامه الجيد.

4) توافق عمليات تصميم وصيانة المواني والمرافى البحرية مع الخرائط المصممة لها.

بالنسبة لأعمال الطيران المدني يتجلى استخدام الجي بي اس في عدة عوامل: مساعدة الطائرات بالهبوط السليم في حال الرؤيا الصعبة دون اللجوء لاستخدام أشعة الملاحقة التقليدية المكلفة جداً وغير المتوفرة إلا في المطارات الضخمة جداً. تصبح عملية الملاحة الجوية سهلة ومن الممكن توفرها في أي مطار مع الازدياد المتحسن لعوامل أمان الطائرات والاقتصاد العالي لاستهلاك الوقود والاستخدام الجيد لممرات العبورالجوية. تأمين طريقة مرنة ودقيقة لعمل نقاط وسائل تحكم الطائرات وحركات مركبات الخدمة الأرضية بين الطائرات في أثناء عمليات الهبوط والإقلاع.

في مجال تنظيم عمل المصادر الطبيعية تطورت عمليات تنظيم الموارد الحيوية بشكل كبير جداً باستخدام الجي بي اس وأصبحت أكثر سهولة ودقة من السابق مثل:

1) رسم خرائط ممرات المناجم وأحواض التخزين المائية ومناطق صيد الأسماك.

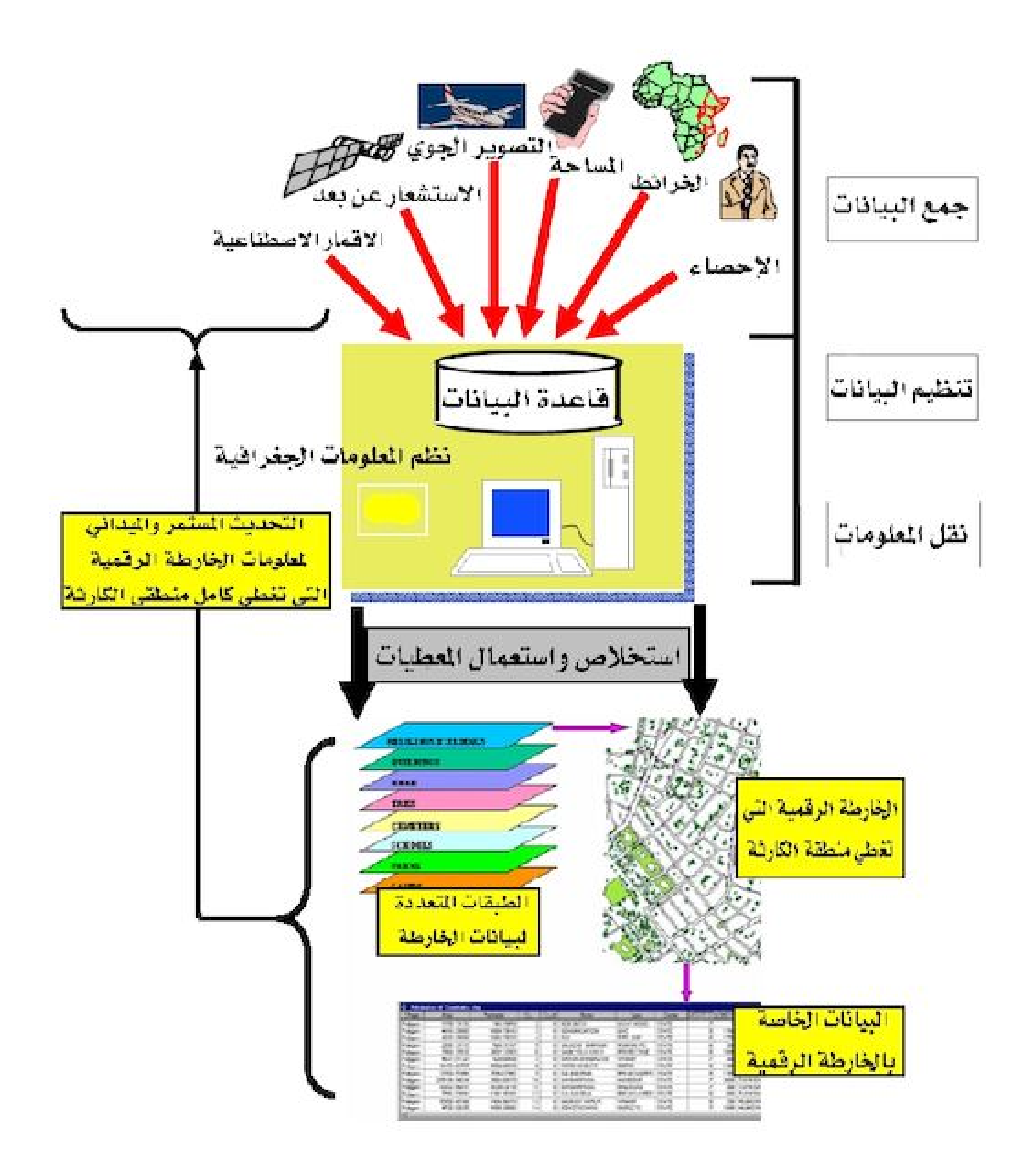
2) إمكانية تنفيذ كثير من الأعمال المتكررة والضرورية بشكل سهل وأتوماتيكي كصيانة الخرائط الدقيقة وتطوير عمليات الحماية والخدمة.

3) السرعة بتنظيم وإيقاف زحف حرائق الغابات عن طريق استخدام طائرات الهيليكوبيتر المزودة بأجهزة الجي بي اس التي تقوم بالطيران السريع وأخذ القياسات المساحية بدقة متناهية وبوقت قصير جداً حول محيط المنطقة المحروقة وبشكل آني تنتج خريطة دقيقة لحجم الحريق تفيد في تأمين العدد اللازم لرجال الإطفاء وإرشادهم إلى المكان الصحيح للمنطقة المحروقة.

4) في مجال الأعمال الزراعية بحماية البيئة عن طريق تنظيم رحلات الطائرات الزراعية التي تغطي المنطقة الواجب رشها بالبذور بدقة عالية جداً وتصميم الخرائط الخاصة بأحوال التربة لتعيين كمية المواد الكيميائية المناسبة وتحديد معاييرها النظامية اللازمة لعمليات تغذية التربة بدقة بالغة. في مجال اكتشاف الموارد البحرية بتلافي صرف الأموال الباهظة في عمليات البحث عن الأماكن المناسبة لإقامة أعمال النقب والحفر وخاصة في منتصف المحيطات الخالية من النقاط المرجعية (علامات أرضية).

10.2 نظام المعلومات الجغرافية (Geographic Information System GIS)

يعرف الجي أي اس بأنه النظام المعلوماتي القادر على تجميع، تخزين، تركيب وعرض المعلومات المرجعية بشكل جغرافي. يستطيع الجي أي اس استخدام المعلومات من مصادر متنوعة وبإشكال مختلفة وتحويل هذه المعلومات الرقمية المخزنة إلى خريطة أو أي أشكال يمكن تمييزها واستخدامها لتحليل هذه المعلومات. مثلاً، يمكن تحديد فترات الجفاف السنوية للأراضي الحاوية على مياه في منطقة بانياس الساحلية من خلال ربط المعلومات المتعلقة بسقوط الإمطار في هذه المنطقة باستخدام الصور الجوية والصور الرقمية الملتقطة بواسطة الأقمار الصناعية والبيانات الخاصة بمعدلات الهطول ومن ثم تحليلها لتعطي خريطة مثل طبقة أو صحيفة من المعلومات الرقمية حول الأغطية النباتية .وبطريقة مماثلة فانه يمكن تحويل المعلومات الإحصائية أو الهيدرولوجية المجدولة إلى خرائط على أشكال صفائح تتضمن المعلومات الرئيسية الضرورية للجي أي اس. أيضاً، يمكن استخدام الجي أي اس في تنظيم الموارد والمخططات التنظيمية.



الشكل 19.2 التقنيات الجيومعلوماتية واستخداماتها في تشكيل قاعدة البيانات والخرائط الرقمية

فمثلاً، يسمح الجي أي اس لمخططي حالات الطوارئ بحساب أوقات الاستجابة لحالة الطوارئ بسهولة في حال حدوث الكوارث الطبيعية، أو يمكن أن يستخدم الجي أي اس لإيجاد الأراضي الحاوية على المياه والتي بحاجة للحماية من التلوث. إن المتطلبات الرئيسية لمصدر المعلومات تتمثل بتعيين المتغيرات الإحداثية الفراغية لموقع هذا المصدر والتي تتكون من الطول والعرض والارتفاع، أو باستخدام مقاييس أخرى متعارف عليها.

11.2 الاستنتاج

تمَّ في الخاتمة اعتبار مسألة تصميم شبكة الجي بي اس وكأنها مسألة تحسين توافقية. بالنسبة للشبكات الكبيرة، إن معرفة الحل الدقيق عملياً إما أن يكون مستحيلاً أو غير مرغوباً به إطلاقاً أكثر من الحل القريب من المثالي والسهل

الحصول عليه حسابياً. لذلك، إن الطرق الدقيقة تستغرق وقتاً طويلاً، وغير قادرة على التعامل مع أي قيود إضافية وصعبة البرمجة. وبالتالي، فإنه من الأهمية بمكان أن يكون هناك بدائل جيدة كالطرق التقريبِّية التي تلبي بسهولة احتياجات المهندس الجيوماتيكي في الأعمال الحقلية لتصميم الشبكة المساحية. سيتم في الفصول القادمة عرض نجاح تطبيق طرق التحسين التقريبية في تصميم شبكات الجي بي اس في كل من جمهورية مالطا في البحر الأبيض المتوسط وجمهورية سيشيلز في المحيط الهندي.



الفصل الثالث

خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتصميم الشبكات الجيوماتيكية

1.3 مقدمة

يتضمن هذا الفصل تعريف المفهوم العام للبرمجة التقريبيِّة (Heuristic Programming) والطرق التقريبيِّة منه) لمسائل تصنيفها، ومزاياها، وعيوبها وضرورتها. فقد تمَّ اقتراح عرض الإطار العام للطرق التقريبيِّة للجي بي اس، وتبنِّي المفاهيم الأساسية لمركبات هذه الطرق. وذلك من خلال توصيف الشكل الإنشائي لآلية إنتاج مجموعة الحلول المجاورة (Neighbourhood Search Structure) الأكثر مناسبة لمتطلبات كلٍ من شبكات الجي بي اس المساحية والطرق التقريبيِّة في قبول الحلول التي يتمَّ الحصول عليها. وبهذا فقد تمَّ شرح الاستراتيجية الأساسية لطريقة البحث المتقارب المحلي (LSD) التي تشكل قاعدة لعمليات البحث الطرق التقريبيِّة للجي بي اس كطريقة التلدين التجريبي (GPS-SA) وطريقة البحث المحظور (GPS-TS). وأيضاً عرض ووصف وشرح الصيغة المعتمَّدة لقياس وتقييم أداء البرمجيات التقريبيِّة (Heuristic Programs) مع تقديم أمثلة على تطبيق هذه الطرق التقريبيِّة في الفصل 4 والفصل 5.

2.3 خوارزميات الذكاء الاصطناعي والبرمجة الهيروستيكية

يمكن وصف الطرق الهيروستيكية (التقريبيِّة) بأنها أحدث الأساليب المطوَّرة في مجال بحوث العمليات لتحديد الحل المثالي (أو القريب منه) لمسائل التحسين المعقدة (Complex Optimization Problems). عادة تعرف مسائل التحسين التجميعية التوافقية (COPs) بأنها سهلة التوصيف ولكن من الصعب حلها. ولهذا فقد عرض البحث أمثلة نموذجية عن هذه المسائل التجميعية التوافقية منها: مسألة تنظيم ترتيب العمليات على الآلات (Machine-Scheduling Problem) (Osman and Kelly, 1997)، مسألة تجزئة المجموعة إلى أجزاء فرعية (Set-Partitioning Problem) (Glover, 1977)، مسألة تموضع المحتويات في المستودعات أو أماكن التجميع (Warehouse Location) (Charalambous and Elimam, 1990)، مسألة البائع المتجول (Travelling Salesman Problem) (Lin, 1975)، مسألة تخصيص الوظائف (Assignment Problem) (Martello and Toth, 1981)، ومسألة تحديد مسارات العربة (Vehicle Routing Problem) (Golden, 1977b). فقد تنشأ هذه المسائل في مجال الأعمال التجارية، والهندسة والصناعة والعديد من المجالات الأخرى. لقد تطورت الطرق التقريبيِّة بشكل كبير مع بدايات ثمانينات القرن الماضي، وحققت نجاحات على نطاق واسع في حل مجموعة متنوعة من المشكلات العملية والصعبة في علوم الحاسب الآلي (Computer Science, CS)، والذكاء الاصطناعي (AI)، وبحوث العمليات (OR).

تمَّ تعريف المفهوم التقريبي وشرحه بشكل جيد في الدراسات المرجعية. إن أصل كلمة هيروستيك هو (Heuriskein) مشتقة من اليونانية وتعني اكتشف (To Discover). وهذا المعنى له استخدامان:

- توصيف نهج أو طريقة للتعلم بالمحاولة، دون الحاجة بالضرورة لوجود فرضيات منتظمة (Organized Hypothesis) أو طريقة لإظهار بأن النتائج قد أثبتت أو أدحضت الفرضيات. وهذا هو، التعلم بالتجربة والخطأ (Trial-And-Error).

- تتعلق باستخدام المعرفة العامة المكتسبة بالخبرة، وأحياناً يعبر عنها

بقاعدة الإبهام (Rule-Of-Thumb).

في هذا الكتاب تمَّ إجراء محاولة للتعامل مع اثنين من المفاهيم المختلفة لمضمون وفكرة الطرق التقريبِّية. في المعنى الاول، إن الفكرة الأساسية من عمليات البحث التقريبي هو أنه بدلاً من محاولة كل مسارات البحث الممكنة، فإنه يتمَّ المحاولة والتركيز على المسارات التي يبدو أنها على مقربة أكثر للحصول على الهدف. إن التعريف الجيد لهذا الشرح معطى من قبل الباحث Tonge (Tonge, 1961) وهو أن الطرق التقريبِّية (هي مبادئ أو أدوات تساهم، بمعدل وسطي إلى تخفيض عمليات بحث إيجاد حل لمسألة ما)، أما البرمجة التقريبِّية فهي (بناء برمجيات لحل المسألة باستخدام مثل هذه المبادئ والأدوات). أما في المعنى الآخر، فقد اقترح الباحث Lin (Lin, 1975) شرحاً آخر للطرق التقريبِّية، وهي أن الطرق التقريبِّية عبارة عن (الخوارزميات التي تساعد على اكتشاف حلٍ مقبولٍ ضمن حدود الوقت الحسابي).

إن الفرق بين المفاهيم المذكورة أعلاه، هي أن Tonge يعتبر الطرق التقريبِّية قواعد لتحسين فعَّالية خوارزمية ما والتي تنتهي فعلياً في نهاية المطاف بإيجاد الحل المثالي. في حين أن Lin يعتبر الطريقة التقريبِّية خوارزمية لتحسين حل ما مختار وهذا يعني بأن الخوارزمية لن تنتهي بالضرورة عند القيمة العظمى.

البرمجة الهيروستيكية (Heuristic Programming)

عرف نيشولسون (Nicholson 1971) الهيروستيك أو الطريقة التقريبِّية كما يلي:

«الهيروستيك هو إجراء لحل المسائل بطريقة منهجية تُمكن من تفسير المسألة واستغلالها بذكاء للحصول على حل مناسب» .

إن المعنى الجوهري لهذا التعريف ينبثق من عاملين مهمين، الضرورة باستغلال التصميم الهيكلي للمسألة والحل المناسب لها. إن البرمجية التقريبِّية والتي هي أداة مفيدة في علوم الإدارة، تتضمن بناء نماذج لاتخاذ القرار ويمكن تسميتها برمجيات حاسوبية لحل المسألة (Problem-Solving Computer Programs). في هذه الدراسة، تمَّ تنظيم برمجيات تقريبية لمسائل مبنية على

استخدام نظام الجي بي اس لتقوم بالاستفادة الفعَّالة للمعلومات المكوَّنة لشبكة الجي بي اس من خلال البحث عن أفضل برنامج ممكن لتنظيم مركبات العمل الحقلي لتصميم شبكة الجي بي اس المساحية وذلك بالتركيز على مبدأ الانتقائية (Selectivity) بدلاً من السرعة الحسابية الخالصة (Pure Computational Speed) (Michie, et, al., 1968). يعتمَّد تطبيق طرق البرمجة التقريبيِّة في حل مسألة ما على بناء منهجية مبنية على أساس التقدم والتطور في مجال برمجة الكمبيوتر والأجهزة. ويجب على كل من المستخدم (User) والنظام المتبع لحل المسائل (Problem-Solving System) التوقع وقبول قاعدة مشتركة من المعرفة. حيث إنه من الممكن وجوب البناء والعمل بمضمون ذي معنى باستخدام المعلومات الخاصة بالمسألة المراد حلها. ينبغي على ميزات وخصائص أجهزة الكمبيوتر أن تلبي التطورات في عمليات التنظيم الآلي تمشيّاً مع ما هو عليه بالتزايد الفعلي في السرعة والحجم.

ضرورة الحاجة للطرق الهيروستيكية

إن البحث العملياتي هو علم حل المسائل، وإن ما يميز الباحثين العاملين في البحث العملياتي والمهندسين الصناعين عن غيرهم هو القدرة الفريدة على استخدام كافة الميادين العلمية لخلق أساليب جديدة لحل المسائل المبنية على اتخاذ القرار. وتتجلى هذه القدرة جيداً في تصميم وتطوير الطرق التقريبِّية لحل مسائل التحسين المعقدة. وهكذا، يمكن تعريف الطريقة التقريبِّية بأنها مجموعة التصاميم التي غالباً ما توجه بالحس السليم (Common Sense) لتأمين حلول جيدة للمسائل الصعبة بسرعة وبسهولة (Evans and Cullen, 1977).

بالنسبة للطرق الدقيقة (Exact Methods)، فإن الخبرة الحسابية لم تكن مشجعة تماماً حيث إنه غالباً ما يتطلب حل المسائل الحقيقية تحقيق شروط تفوق عن الحد المسموح به بالنسبة لمتطلبات ذاكرة التخزين (Excessive Storage Requirements) والزمن الحسابي (Computing Time). فقد توفر الطرق التقريبِّية المقدرة لتحل مكان الطريقة الدقيقة ذات التزايد الزمني الأسي (Exponential Time Growth) واستبدالها بطريقة تقريبية ذات تزايد زمني متعدد الحدود (Growth Time Polynomial) (Martello and Toth, 1990).

إن متطلبات حل المسائل الأكثر تعقيداً ينتج عدداً كبيراً من الخيارات أو البدائل لإيجاد الحل الدقيق. فقد لعبت الطرق التقريبِّية دوراً فعَّالاً في مسائل التحسين التوافقي من خلال تقديم طريقة موجهة لتخفيض العدد الكبير للحلول التجميعية الناتجة. بشكل عام، تُعدُّ هذه الطرق مفيدة لإنتاج حلول قريبة من المثالية خلال زمن حسابي مقبول للمسائل المراد معالجتها حيث إنه لا توجد دراسات نظرية وموارد عملية كافية يمكن استخدامها في تطوير خوارزميات مثالية خاصة لحل كل مسألة محددة. وتُعدُّ الطرق التقريبِّية الأكثر مناسبةً لحل المسائل غير المعرَّفة بوضوح (Vaguely Defined Problems) والتي لم تنجح الطرق الدقيقة في حلها ومعالجتها بشكل فعَّال. وهكذا، تكمن أهمية هذه الطرق بضرورتها بالنسبة لصناع القرار والباحثين في البحث العملياتي.

إن التقدم السريع في تكنولوجيا الحاسوب ومعالجة المعلومات قد زوَّد صناع القرار بكلٍ من البيانات والحافز لحل المسائل المعقدة والكبيرة الحجم. للأسف، فإن تطوير برمجيات جيدة ومتطورة للتطبيقات الخاصة والمحددة الغرض يتطلب الوقت والمال. من ناحية أخرى، فإن الطرق التقريبِّية عادة ما تكون مرنة بالبرمجة والتطبيق، فصانع القرار يريد حلاً عملياتياً يُحسِّن من الطريقة التي يستخدمها حالياً. وعادة، يمكن لطريقة تقريبية جيدة أن تؤمن الحلول المثلى أو القريبة منها بكلفة مناسبة. لقد أثبتت الطرق التقريبِّية بأنها تقنيات ناجحة لحل العديد من المسائل المهمة في الحياة العملية وخاصة التي ليس لها حل تقني يلبي الحدود الزمنية، إلخ. فالطرق التقريبِّية هي خيار طبيعي لهذه الحالات حيث إن العديد من هذه الطرق تتمَّتع بالذكاء الفائق من خلال الاستفادة بشكل كبير من التركيبة المعينة للمسألة المراد حلها.

3.3 خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تصميم الشبكة الجيوماتيكية

إن المكونات الأساسية للطريقة التقريبِّية للجي بي اس: البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة (Initial Schedule) ومجال الفضاء البحثي المحيط بهذا البرنامج (Search Space)، طريقة تشكيل مجموعة الحلول المجاورة والبديلة والمشتقة من البرنامج الأولي، وآلية البحث عن الحلول في مجال الفضاء البحثي (Search Mechanism). إن المراحل

الرئيسية، والتي تشمل المكونات أعلاه، يمكن وصفها في الأجزاء التالية. تبدأ المرحلة الأولى بتشكيل البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة (Initial Schedule Formation) باستخدام خبرة وحدس المهندس المساحي. لتوسيع مجال عمليات البحث الشاملة، فإنه يمكن استخدام عدة طرق لإنتاج مجموعة من البرامج الأولية لتنظيم عمليات التصميم. في المرحلة الثانية يتم إجراء عمليات البحث بتشكيل الانتقال ("Search by Move Formation")، باستخدام جميع طرق البحث المحلي مثلًا طريقة البحث المحظور، وطريقة التلدين التجريبي التي تعتمَّد على آلية الإنتاج بالانتقال (Move-Generation Mechanism) لإيجاد برامج مجاورة لتنظيم العمل الحقلي من برنامج وحيد للحصول على البرنامج الأقل كلفةً لتنظيم العمل الحقلي. في المرحلة الثالثة يتمَّ إجراء عمليات البحث بتشكيل برنامج تنظيم العمل الحقلي (Search by Schedule Formation)، المبنية على آلية تشكيل برنامج باستخدام الخوارزمية الجنية والبرمجة التطورية (Evolutionary Programming).

في المرحلة النهائية، يتمَّ إنهاء عمليات البحث ("Termination of the Search")، حيث تستمَّر عمليات البحث إما بالرجوع إلى المرحلة الثانية (إذا تمَّ استخدام عمليات البحث المحلي بعد كل تشكيل) أو بإنشاء دورة أخرى باستخدام عمليات بحث التقييم (Search Evaluation) وعندها تستمَّر عمليات البحث حتى تحقيق صيغة إيقاف العمل (Termination Criterion). تشير الخطوط المنقطة إلى الخيارات التي يمكن تجاوزها أو استخدامها. هناك الكثير من الحالات الممكنة غير التي يمكن الحصول عليها من خلال تغيير ترتيب المراحل المذكورة أعلاه، وإدخال أفكار أخرى والتي هي خارج نطاق الدراسة الحالية.

إن تنظيم وترتيب الأشعة في شبكة الجي بي اس المساحية مشابه لما هو معروف في البحث العملياتي بترتيب مركبات العمل التجارية (Job Shop Scheduling JSS) (Nowicki and Smutnicki, 1996). يمكن تعريف مسألة (JSS) كما يلي: كل مجموعة من الوظائف (jobs n) تتمَّ معالجتها بمجموعة من الآلات (machines ...m،1) وفق ترتيب معين (Order). ويُعرف (Tij) بزمن معالجة (Processing Time) الوظيفة (i job) بالآلة (machine j). في أي وقت، يمكن لكل آلة معالجة وظيفة واحدة على الأكثر وكل وظيفة يمكن معالجتها بآلة

واحدة على الأكثر (أي لا يسمح بالاستباق أو التجاوز) (preemption is not allowed). إن التسلسل المتبع (Sequence) لمعالجة الوظائف هو ذاته بالنسبة لكل آلة. والهدف هو إيجاد برنامج لتنظيم الوظائف ويحتوي على جميع سلاسل هذه الوظائف لتصغير الحد الأقصى للوقت اللازم لإتمَّام العمل (Maximum Completion Time). إن وضع عملية رصد الأشعة باستخدام أجهزة الاستقبال للجي بي اس مشابه إلى عملية معالجة الوظائف من قبل الآلات في مسألة جدولة وظائف الآلة (JSS).

المسألة المراد دراستها هي عملية البحث عن أفضل ترتيب لتنظيم عملية رصد هذه الأشعة بحيث تعطي أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي وبأقل كلفة ممكنة (Minimal Cost of Best Schedule). وبالتالي، يمكن تعريف برنامج تنظيم العمل الحقلي بأنه سلسلة من الأشعة التي يجب رصدها بشكل متعاقب (Consecutively). ولتجنب التعميم في مسائل جدولة وترتيب الوظائف المعقدة، تمَّ إيجاد بعض التعديلات التبسيطية التي تسمح باعتماد مسألة جدولة تنظيم العمل الحقلي للجي بي اس. هذه التعديلات كما يلي:

الانتقال

يُعرف الانتقال (Move) بأنه التحول من برنامج تنظيم العمل الحقلي إلى برنامج آخر ويتمَّيز بمجموعة من السمات (Attributes). وفي هذا السياق تُعرف السمة بالتغيير الحاصل خلال الانتقال. فمثلاً في شبكة الجي بي اس، يُعبر عن الانتقال بالتبادل الثنائي المتجاور (Neighbouring Pair Exchange)، أي التبادل (Swapping) بين شعاعين في سلسلة معطاة. وتسمى السلسلة (Reachable Sequence) الناتجة بانتفال وحيد ببرنامج مجاور لتنظيم العمل الحقلي وذلك عن طريق التبادل بين الشعاعين.

دالة الهدف أو تابع الكلفة ((Cost Function (makespan))

تُعرف الكلفة (Cost) في هذه الدراسة بأنها الزمن المستغرق للانتقال من برنامج واحد لتنظيم العمل الحقلي إلى آخر ونرغب بتصغير هذا المقدار (Makespan) (Silverman, 1985). وهذا المصطلح (Makespan) هو الزمن الإجمالي ([ΣCij]) لإتمَّام رصد جميع الأشعة المطلوبة في الشبكة، أي الزمن

المستغرق الذي يتمَّ به الانتهاء من رصد الشعاع الأخير.

تقييم كلفة الانتقال (Evaluation of the Cost of a Move)

تُعرف كلفة الانتقال (Δ) بأنها الفرق بين قيم تابع الكلفة للبرنامج (V) والبرنامج (’V) وتُعطى بالعلاقة التالية:

$$C\ (V) - C\ (V') = \Delta \qquad (3.1)$$

تمَّ إنتاج البرنامج (’V) بتطبيق آلية التبادل الداخلي بين أشعة البرنامج (V). تُمثِّل القيمة (Cbc) كلفة الانتقال من رصد الشعاع (ab) إلى رصد الشعاع (ac).

السلسلة (Sequence)

في المصطلح العام، تُعرف السلسلة (Sequence) بالترتيب الذي يتمَّ فيه تنفيذ كافة الأنشطة الخاصة بالمسألة المراد معالجتها. في المساحة الفضائية، تُعرف السلسلة بالترتيب الذي يتمَّ فيه رصد الأشعة باستخدام أجهزة الاستقبال. قد تأخذ عملية التسلسل بالحسبان التكاليف المتعلقة برصد شعاع مُعين تمَّت متابعته برصد شعاع آخر. يٌعرف تسلسل الأشعة في هذه الوضعيات كمسألة تدفق العمليات في المتجر (Flow Shop Problem).

برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة

يمكن أن ينظر إلى عمليات ترتيب وتنظيم الأشياء في برنامج بأنها ترتيب هذه الأشياء في نمط معين (Pattern) وفقاً للزمن (Time) أو للفضاء (Space) لتحقيق بعض الأهداف أو تحقيقها بشكل تقريبي، وإن القيود المفروضة (Constraints) على الطريقة التي يمكن ترتيب هذه الاشياء قد تمَّ تحقيقها كلياً أو تقريباً. عادةً في المساحة الفضائية يحتوي برنامج ما لتنظيم العمل الحقلي على المركبات التي تُمثِّل كل المعلومات الضرورية لتنفيذ رصد كامل الشبكة. وهذا يمكن أن يشمل الأزمنة التي يتمَّ فيها تنفيذ عمليات رصد هذه الأشعة، وخطط العمل الخاصة بفريق العمل وأجهزة الاستقبال.

البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة

يمكن إنتاج برنامج تنظيم العمل الحقلي الأولي (V) بأي منهجية

أو طريقة عشوائية اختيارية (Random) أو إنشائي (Constructive Procedure) أو بالحدس والخبرة (Intuition). في المساحة الفضائية، يمكن إنشاء البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي يدوياً بالاعتماد على خبرة وحدس المهندس المساحي.

تمَّثيل برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة

إن عمل أي خوارزمية تقريبية مبني على استراتيجية طريقة البحث المحلي المتقارب. تبدأ هذه الطريقة عملها ببرنامج أولي (V)، وتنتقل إلى برنامج مجاور ('V) في مجموعة البرامج المجاورة ((V) I) للبرنامج الأولي، ثم تقوم بتحديد (V'=V) وتُكرر هذا النهج حتى يتمَّ تحقيق صيغة إيقاف عمل الطريقة والمحدد مسبقاً. عموماً، تختلف الطرق التقريبِّية فيما بينها وفقاً لأسلوب اختيار مجموعة البرامج المجاورة، كيفية تمَّثيل البرنامج، والاستراتيجة المستخدمة لانتقاء البرنامج التالي. إن تمثيل برنامج ممكن لشبكة الجي بي اس يكون بالشكل (V=(V1،V2،...Vn)) بحيث يتألف كل برنامج في هذه المجموعة من الأشعة ذاتها ولكن بتريب مختلف.

الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة

إن فضاء البحث لبرنامج تنظيم ما لتنظيم العمل الحقلي يُمثل بالمجال البحثي (Domain) ويتكون من كافة البدائل (برامج تنظيم العمل الحقلي الممكنة). والهدف من ذلك تصغير قيمة تابع الكلفة (الوقت المستغرق لرصد الشبكة) من خلال فحص ودراسة فضاء البحث لبرنامج تنظيم العمل الحقلي باستخدام الانتقالات للتغيير من برنامج إلى آخر، إذا كانت (U) عدد الأشعة، إن حجم الفضاء البحثي لبرنامج يُعطى كما يلي:

$$Q=(U-1)! \quad (3.2)$$

إن المعادلة المبيَّنة أعلاه يتمَّ تقسيمهاعلى (2) في حال أن مصفوفة الكلفة الفعلية متماثلة (symmetric).

مجموعة برامج تنظيم العمليات المجاورة

إن مجموعة برامج التنظيم المجاورة لحل ما تُمثِّل منطقة (Region) من

الفضاء المحيط بهذا الحل. إن إحدى مشكلات تصميم خوارزمية مبنية على طريقة البحث المحلي المتقارب تكمن بتحقيق التوازن القسري بين عدد البرامج الناتجة والزمن الحسابي اللازم لاختبار هذه البرامج بغية الحصول على البرنامج الأكثر مناسبة. كلما كان عدد البرامج كبيراً كلما أصبحت عملية البحث شاملة وتطلبت زمناً حسابياً أكبر والعكس صحيح. لهذا فإن تصميم خوارزمية تقريبية جيدة يتطلب اختيار مجموعة برامج بديلة تهدف إلى تحقيق التوازن الصحيح المذكور أعلاه ((Wyman, 1973)، (Zadeh, 1973) and (Zanakis and Evans, 1981)). إن الطريقة الأكثر تطوراً ونجاحاً لتشكيل مجموعة البرامج المجاورة (والتي استخدمت في هذه الدراسة) تعتمَّد على خوارزمية لين-كيرنيغان المطبَّقة على مسألة البائع المتجول (TSP) (Kernighan and Lin, 1970).

في المساحة الفضائية، يتمَّ عادة تحديد مجموعة برامج تنظيم العمليات المجاورة لبرنامج ما لتنظيم العمل الحقلي كمجموعة بديلة (Alternative) ومنفصلة (Discrete) مكوَّنة من مجموعة البرامج التي يمكن الحصول عليها بتطبيق انتقال وحيد (Single Move) على البرنامج الأساسي (Original Schedule). بشكل عام، تحتوي مجموعة برامج تنظيم العمليات المجاورة لبرنامج ما لتنظيم العمل الحقلي على بعض برامج تنظيم العمل الحقلي التي يمكن أن تكون غير جيدة والبعض الآخر منها أفضل من البرنامج الأساسي.

4.3 استراتيجية خوارزميات الذكاء الاصطناعي في اختيار وقبول الحلول المثالية

يقوم معظم الباحثين العاملين في مجال الطرق التقريبِّية بتحديد الشكل الإنشائي لمجموعة برامج تنظيم العمليات المجاورة لمسألة معينة ما ويختارون (عشوائياً أو إنشائياً) الحل الجيد التالي (Next Potential Solution) من مجموعة الحلول المجاورة للحل الحالي (Hasan and Osman, 1995). على أي حال، في هذه الكتاب تمَّ تطوير الإنشاء الأكثر مناسبة الذي يلبي متطلبات كلٍ من الجي بي اس والطرق التقريبِّية، وتمَّ تطبيقه واختباره وتعميمه لكلٍ من الطَّريقتين التقريبيتين للجي بي اس التلدين التجريبي والبحث المحظور.

إن الإنشاء المبني على البحث المتتابع لمجموعة البرامج المجاورة لتنظيم

العمل الحقلي لتصميم الشبكة (Sequential Neighbourhood Search) يناسب كلاً من الطريقتين المذكورتين آنفاً. في هذا الإنشاء، تمَّ اختبار التبادلات الثنائية الجيدة وفقاً للترتيب ((1، 2)، (1، 3)، (1، 4)،...، (1، n)، (2، 3)،...، (n-1، n)). ولهذا يتمَّ حساب التغيير في الكلفة ومن ثم يتمَّ قبول أو رفض هذا التبادل وفقاً لاستراتيجية القبول الخاصة بالطرق التقريبيِّة للجي بي اس المطبَّقة. تمتحن هذه الاستراتيجية كل برامج تنظيم العمل الحقلي في مجموعة البرامج المجاورة والمشتقة من البرنامج الحالي وقبول أفضل برنامج وفقاً لصيغة القبول المعطاة. تمَّ صياغة الشكل الإنشائي لعمليات البحث المتابعة لمجموعة البرامج المجاورة وفقاً لمتطلبات شبكة الجي بي اس وقد أعطت نتائج جيدة. لإجراء عمليات المقارنة، تمَّ تنفيذ اختبارات على شبكتين مختلفين في مالطا وسيشيلز،

استراتيجية طريقة البحث المحلي المتقارب

تمَّ عرض طريقة البحث المحلي المتقارب لفهم استراتيجية عمليات البحث التقريبي. تُشكل هذه الطريقة الصنف العام للطرق التقريبيِّة المعروفة جيداً والمبنية على مفهوم تطبيق البحث على مجموعة البرامج المحلية لتنظيم العمل الحقلي المجاورة للبرنامج الحالي (Schaffer and Yannakakis, 1991)، تحاول هذه الطريقة تحسين قيمة برنامج أولي ما تمَّ اختياره كيفياً لتصميم شبكة الجي بي اس بتطبيق سلسلة من تغييرات التحسين المحلية (المبادلة بين الأشعة) (Sessions Swapping) (Lin, 1965). تقوم طريقة البحث المتقارب المحلي والمعروفة بطريقة الانتقال تلو الانتقال (Move-By-Move Method) بخلط وتغيير (Perturbates) عناصر البرنامج الأولي (V) لإنتاج مجموعات متنوعة للبرامج المجاورة. يتمَّ إنتاج مجموعة برامج التنظيم المجاورة بتطبيق آلية الإنتاج بالانتقال (A Move Generation Mechanism) والتي هي عبارة عن التحول من برنامج ما (V) إلى برنامج آخر (V'∈I(V)) بخطوة واحدة (أو عملية تكرارية) (Iteration). يتمَّ اختيار وقبول هذه البرامج وفقاً لبعض الصيغ والمعايير المحددة مسبقاً (Reeves, 1993). من الممكن أن يكون برنامج تنظيم العمل الحقلي الناتج (V) ليس مثالياً، ولكنه أفضل برنامج في مجموعة البرامج المحلية والمجاورة ((V) I) لهذا البرنامج. إن البرنامج ذات المثالية المحلية

(Local Optimal Schedule) هو برنامج بكلفة ممكنة ذات قيمة التحسين الصغرى (Local Minimum Possible Cost) وتسمى بالمثالية المحلية (Yannakakis، 1990). يعرض الشكل 2.3 الخطوات الأساسية لطريقة البحث المحلي المتقارب التي تنتج برنامج تنظيم العمل (V).

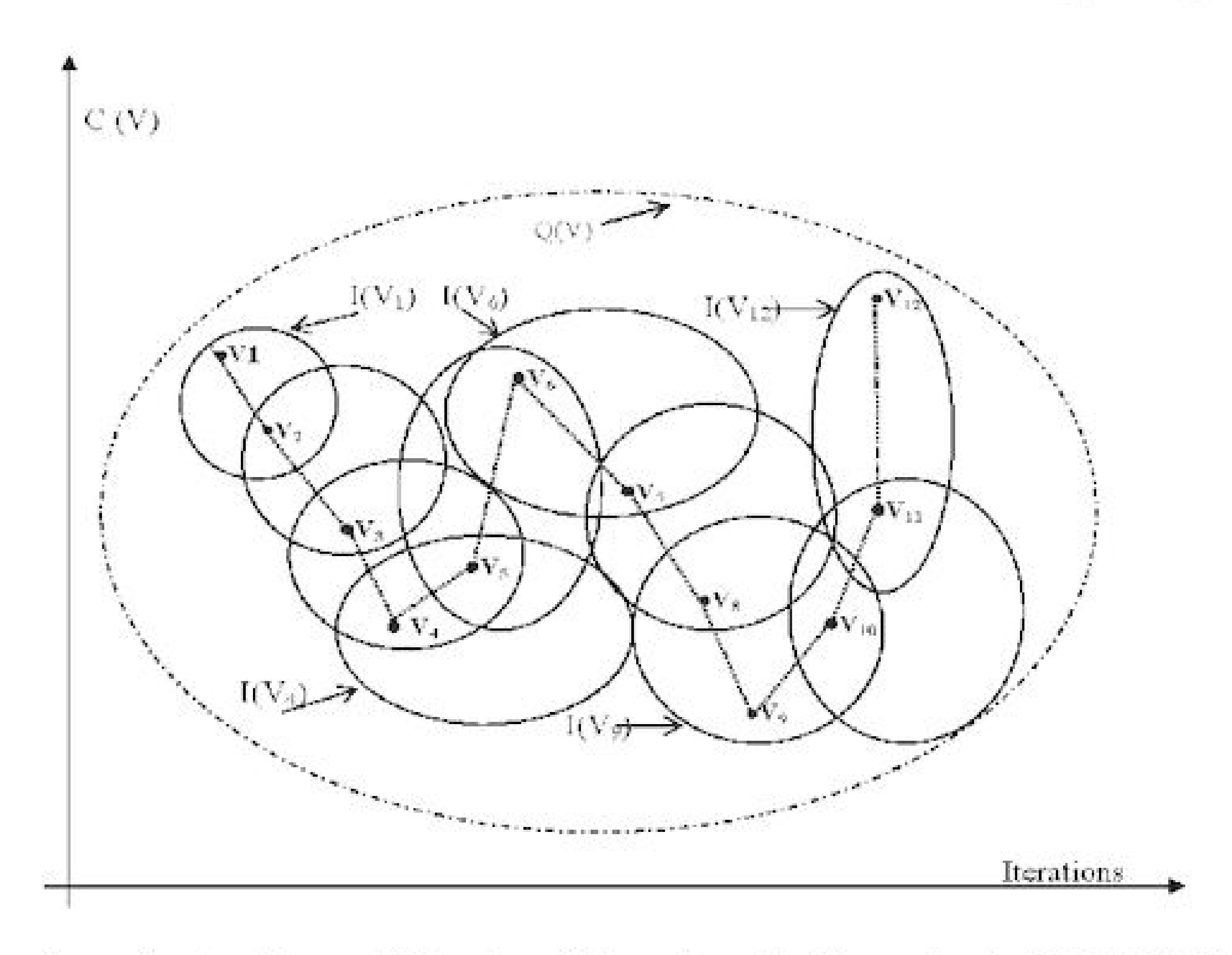
في الشكل 3.3، تُمثِّل (V1) البرنامج الأولي، و(V4) البرنامج ذات قيمة التحسين الصغرى (Local Optimum)، و(V9) البرنامج ذات قيمة التحسين العظمى (Global Optimum)، بينما تُمثِّل ((Q (V) الفضاء البحثي و((I(V) مجموعة البرامج المجاورة والمشتقة من البرنامج (V). أيضاً يُظهر هذا الشكل التمثيل التخطيطي لأساليب البحث الحسابية للطرق التقريبيِّة: البحث المحلي المتقارب (LSD)، والتلدين التجريبي (SA)، والبحث المحظور (TS). كما مبين في هذا الشكل، إن أساليب البحث تبدأ ببرنامج أولي (V1) ذات كلفة ((C (V1). يتمَّ إنتاج برنامج عمل مجاور آخر (V2) من ضمن المجموعة ((V2∈I(V1) وتشكيل مجموعة برامج مجاورة ((I (V1) بتطبيق آلية مناسبة (Suitable Neighbourhood Mechanism) ويتمَّ حساب التحسين الحاصل في الكلفة ((Δ=C(V2)-C(V1).

- انتقاء برنامج معطى لتنظيم العمل الحقلي ((V∈ I(V) وحساب قيمة كلفته C (V)
- إنتاج برنامج ما لتنظيم العمل الحقلي ((V'∈ I(V) وحساب قيمة كلفته (C (V'
- إذا كانت ((C(V') < C(V) فيتمَّ تبديل البرنامج الحالي (V) بالبرنامج الجديد (V') أي (V'←V)
- خلافاً لذلك، يتمَّ الاحتفاظ بـالبرنامج (V) وإنتاج انتقالات أخرى حتى تحقيق ((C(V') < C(V) بالنسبة لكل ((V'∈ I(V).
- إيقاف عمليات البحث والعودة الى البرنامج (V) كبرنامج ذات مثالية محلية (local optimal schedule).

الشكل 2.3 الخطوات الأساسية لعمل طريقة البحث المحلي المتقارب (LSD).

إذا كانت الكلفة أصغر من الصفر (Δ<0) يتمَّ قبول البرنامج المجاور (V2) من قبل جميع الطرق التقريبِّية كبرنامج حالي جديد (New Current Schedule). خلافاً لذلك، إذا كان الفرق في القيمة أكبر أو مساوياً للصفر (Δ≥0)، يتمَّ الاحتفاظ بالبرنامج (V1) كبرنامج حالي بالنسبة لطريقة البحث المتقارب، وتتم متابعة البحث لإيجاد برامج أخرى مجاورة. بالنسبة لكل متحول (i)، إذا كان البرنامج (Vi) الأفضل في مجموعة البرامج المجاورة التابعة له ((I(Vi)). فإن طريقة البحث المتقارب تتوقف عن العمل وتعلن أن البرنامج (Vi) هو البرنامج ذات قيمة التحسين الصغرى.

يمكن للطريقتين التلدين التجريبي والبحث المحظور الحصول على البرنامج الأقل كلفة (V9 في الشكل 3.3) بتطبيق سلسلة انتقالات ذات الاتجاه صعوداً (Uphill) والاتجاه نزولاً (Downhill) وتستمَّران في عملهما حتى تحقيق صيغة الإيقاف. على أي حال، كلتا الطريقتين تعالجان الحالة (Δ0<) بشكل مختلف وتسمحان لأساليب البحث بالاستمرار لما بعد المثالية المحلية (Local Optimality) لطريقة البحث المتقارب المحلي. وهذا يعني أن كلتا الطريقتين تقبلان الانتقالات غير الجيدة (Worsening Moves)، أي برامج تزيد من قيمة الكلفة بدلاً من تخفيضها. على أي حال، كل طريقة تعتمد استراتيجيات مختلفة لإنتاج نتائج جيدة بالابتعاد عن المثالية المحلية.



الشكل 3.3 دالة الكلفة الافتراضية مع الاساليب البحثية لاستراتيجية البحث المحلي للحصول على برنامج تنظيم العمل الحقلي لنقل جهاز الاستقبال في الجي بي اس.

إن معرفة الفضاء البحثي لبرنامج عمل ما هو المفتاح الرئيسي لاستراتيجيات البحث الفعَّالة للطرق التقريبِّية. تمَّ تصميم هذه الطرق بحيث تستخدم المعرفة المحددة مسبقاً لتتغلب على أسلوب البحث الشامل المعقد وذلك بتنظيم أسلوب بحث عبر البدائل التي يوفرها تمثيل خاص لبرنامج تنظيم العمل الحقلي. إن هدف هذه الطرق التقريبِّية المطوَّرة للجي بي اس تخفيض حجم الفضاء البحثي وإيجاد برنامج عمل ما أقرب إلى البرنامج المثالي قدر الإمكان. ليست كل الطرق التقريبِّية على قدم المساواة، وإن تصميم طريقة تقريبية مسألة تجريبية وعملية. إن هذه الطرق مكوَّنة من إجراءات تقريبية مقرونة بطرق البحث المحلي. في هذا الكتاب، تمَّ تطوير وتطبيق طريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور على شبكات الجي بي اس. ويلخص الجزء التالي هذه الطرق، ولكن سيتمَّ إعطاء مزيد من التفاصيل حول هاتين الطريقتن في الفصول التالية.

خوارزميات الذكاء الاصطناعي

يهدف هذا الجزء إلى تقديم ملخص موجز عن الطرق التقريبِّية: التلدين التجريبي، والبحث المحظور، والخوارزميات الجينية. تعتمَّد الطريقة الأولى على نظريات العلوم الفيزيائية (Physical Science Theories) وبشكل خاص الميكانيك الاحصائي (Mechanics Statistical) (Derwent, 1988)، أما الثانية فتنبثق من المبادئ العامة للذكاء في حل المسائل (Intelligent Problem Solving) (Hu, 1992). وتعتمَّد الطريقة الأخيرة على مفاهيم العلوم البيولوجية (Biological Science Concepts) (Hopfield, 1982). إن تفاصيل تطبيق كلٍ من طريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور لتصميم شبكة الجي بي اس موجودة في الفصل 4 والفصل 5، بينما تمَّ اقتراح طريقة الخوارزميات الجينية للعمل المستقبلي في الفصل 9.

التلدين التجريبي

إن هذه الطريقة مرنة وقوية وقادرة على إنتاج أفضل حل لمسائل الحياة الحقيقية المعقدة. تبدأ طريقة التلدين التجريبي(**Simulated Annealing SA**) بإنتاج مجموعة الحلول المجاورة وتقييم التغير الحاصل في كلفة الحل الأولي. عند الحصول على تخفيض في الكلفة يتمَّ استبدال الحل الحالي بالمجموعة

الناتجة للحلول المجاورة، وإلا يتمَّ الاحتفاظ بالحل الصحيح. يتمَّ تكرار هذه العملية حتى لم يعد بالإمكان الحصول على أي مزيد من التحسين في مجموعة الحلول المجاورة للحل الحالي (Vanderbilt and Louie, 1984). من أجل تطبيق طريقة التلدين التجريبي على مسألة تحسين خاصة، يجب إنجاز عددٍ من القرارات أو الخيارات التي يمكن تصنيفها عموماً بصنفين. **أولاً**، خيارات خاصة بالمسألة (Specific Choices Problem) تحدد الأسلوب الذي يتمَّ به نمذجة هذه المسألة بحيث تنسجم مع الإطار العام لعمل طريقة التلدين التجريبي. بعبارة أخرى، تتضمن هذه الخيارات تعريف الفضاء البحثي المحيط والشكل الإنشائي لإنتاج مجموعة الحلول المجاورة، شكل دالة الكلفة والإجراء المتبع للحصول على الحل الأولي. **ثانياً**، خيارات عامة (Generic Choices) تحكم عمل طريقة التلدين التجريبي ذاتها وتتعلق أساساً بمكونات مقياس التبريد (Cooling Scale؛ عامل التحكم (Control Parameter) وقيمته البدائية (درجة الحرارة)، تابع تحديث الحرارة (معدل التبريد)، وعدد العمليات التكرارية بين التخفيضات (سلسلة ماركوف) والشروط التي بموجبها سيتمَّ إنهاء عمل الطريقة. باستخدام مقياس تبريد مناسب، فإنه يمكن الحصول على الحل القريب من المثالي لكثير من مسائل التحسين التجميعي. يحتاج كلا النوعين من الخيارات إلى قرارات تُعمل بعناية وحذر. يمكن تلخيص ميزات طريقة التلدين التجريبي بما يلي: دائما تقبل انتقالات جيدة، تقبل انتقالات غير جيدة بالاعتماد على الحرارة، تخفض ببطء درجة الحرارة ويمكن الاعتماد عليها لإيجاد الحدود الدنيا المحلية الجيدة.

البحث المحظور

إن الشكل الأساسي لطريقة البحث المحظور (**TABU SEARCH TS**)، والتي هي منهجية بدلاً من كونها خوارزمية أساسية، بناء قائمة من الانتقالات المحظورة (Prohibited Moves) لتساعد بتوجيه الحل نحو المثالية ذات الحدود العظمى (Global Optimum) بتطبيق الحظر على انتقالات معينة (Porto and Ribeiro, 1995). في بداية البحث، تكون هذه القائمة في معظم الأحيان فارغة ولكن تبدأ بالتشكل في أثناء الحصول على الحل من خلال حفظ وتجميع الانتقالات التي يمكن أن تُرجع هذا الحل إلى حل سابق بمثالية ذات حدود دنيا (Local Optimum). تسمى عملية التحول من حل إلى حل آخر

بالانتقال. يسمى انتقال ما بأنه محظور إذا كان يؤدي إلى الحل الذي تكون فيه قيم السمات (Attribute) موجودة في القائمة المحظورة ويلبي شروط الحظر (Tabu Rrestrictions). لكي تعمل هذه الطريقة بشكل جيد، ينبغي إدراج العديد من الإجراءات الرئيسية في إجراءات البحث:

- إجراء الحظر الذي ينظم ما يذهب إلى القائمة المحظورة (TL)؛
- إجراءات التحرير التي تنظم ما يخرج من القائمة المحظورة، ومتى؛
- الإجراء ذات المدى القصير الذي ينظم التفاعل بين الإجراءات المذكورة أعلاه لاختيار الحلول المجربة؛
- الإجراء التعليمي (Learning Procedure) الذي يجمع المعلومات في أثناء تنفيذ طريقة البحث المحظور ومن ثم يستخدم هذه المعلومات المُجمعة لتوجيه الطريقة في العمليات التكرارية اللاحقة؛

الخوارزميات الجينية

تنبثق الفكرة الأساسية لطريقة الخوارزميات الجينية (GENETIC ALGORITHMS GAs) من علم الوراثة السكانية (Genetics Population). خلافاً لطريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور، إن الخوارزمية الجينية عبارة عن إجراءات تكرارية تعمل على مجموعة محدودة (Pool) من الحلول (تسمى الكروموسومات) (Chromosomes) والتي هي عبارة عن سلاسل ثابتة (Fixed Strings) بقيمٍ ثنائية (Binary Values) عند كل وضعية. إن الفكرة الأساسية لهذه الخوارزمية الحفاظ على هذه المجموعة من الحلول المختارة التي تتطور تحت الضغط الانتقائي (Selective Pressure) والتي تختار أفضل الحلول. تمَّ استخدام مجموعة من المعامل الجينية (Genetic Operators) لتسهيل إنتاج هذه الحلول بشكل أفضل والتجنب بالوقوع في المثالية المحلية. تتكون هذه المعامل في الخوارزمية الجينية من التبادل الخارجي (Cross-Over)، والتبادل الداخلي (Mutation)، والانقلاب (Inversion). يتمَّ في عملية التبادل الخارجي اختيار كيفي (Cut-Points) لنقاط التقاطع (عناصر من مجموعة الحلول) ويتمَّ تبادل المعلومات بين هذه العناصر، تقوم معاملة التبادل الداخلي بمنع وقوع الخوارزمية الجينية في مطب المثالية المحلية من خلال اختيار موضع ما (نقطة تقاطع في الحل) كيفياً وتغير قيمته. في معامل الانقلاب، يتمَّ اختيار نقاط

التقاطع كيفياً وتغير ترتيب المكونات بشكل عكسي. يمكن تلخيص ميزات هذه الخوارزمية بما يلي: المحافظة على مجموعة من الحلول الممكنة، إعادة إنتاج الحلول يعتمَّد على مبدأ التطابق (Fitness)، التبادل الخارجي بين أجزاء الحلول، التبادل الداخلي للمعلومات المفيدة للبحث على كامل المجال والحصول على حل جديد أفضل من سابقه. إن أنجح التطبيقات للخوارزمية الجينية يتمَّ بتهجين الخوارزمية الجينية مع التلدين التجريبي أو البحث المحظور.

5.3 المبادئ العامة لمبدأ عمل خوارزميات الذكاء الاصطناعي

يعتمد اختيار تصميم الخوارزميات التقريبِّية (Approximate Algorithms) كلياً على عدة عوامل كخبرة وإبداع المستخدم، هدف التحسين، بناء وحجم المسألة (خصائص الفضاء البحثي). إن تصميم طريقة تقريبية جيدة ليس إلا عملاً فنياً من أعمال اتخاذ القرارات في أثناء عملية الاختيار بين البدائل. وفقاً لأعمال بعض الباحثين وإدخال بعض التعديلات على المسألة المراد معالجتها (شبكة الجي بي اس المساحية)، فإن الأجزاء التالية تُمثِّل تصنيف الطرق التقريبِّية المستخدمة في هذا الكتاب والمقترحة للعمل المستقبلي.

تقنيات تخفيض حجم الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي

تشير هذه التقنيّات إلى عملية تخفيض عدد برامج تنظيم العمل الحقلي المحتملة التي سيتم اختبارها خلال عمل الطرق التقريبِّية للجي بي اس. إن البرمجيات التقريبِّية المتقدمة للجي بي اس، كما هو الحال مع عدد كبير من خوارزميات التحسين، مبنية على إجراء أساليب بحث على الفضاء البحثي للبرنامج الذي هو إما لانهائي في الحجم، أو محدود ولكنه كبير للغاية. يمكن مشاهدة أمثلة عن الأحجام الخاصة بالفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمليات في الفصول 4 و5 للشبكات الصغيرة وفي الفصلين 6 و7 للشبكات ذات الأبعاد الكبيرة جداً. هناك عدة طرق لبحث هذا الفضاء كتقسيمه إلى مجموعات فرعية صغيرة وإجراء أساليب البحث عليها بشكل فردي كما هو الحال في خوارزميات البرمجة الرياضية. تستخدم هذه الخوارزميات نموذج التحسين الرياضي وبرنامج مناسب لتنظيم العمل الحقلي لتعديل هذا البرنامج والحصول على برنامج تقريبي فعّال لتصميم الشبكة كما في طرق التلدين التجريبي والبحث المحظور للجي بي اس.

تقنيات تبسيط المسألة

تعتمد هذه الفئات من التقنيّات التقريبيّة (والتي يُنظر إليها أيضاً وكأنها تقنيات لتخفيض حجم الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي) على تبسيط الشكل البنيوي للشبكة ذات الأبعاد الكبيرة من خلال إيجاد شبكة واحدة أو أكثر من الشبكات المقيدة والتي هي أسهل للحل (Klastorin, 1979). تمَّ استخدام هذه التقنيّات في هذه الدراسة وهي كما يلي:

التقسيم إلى أجزاء مختلفة (Decomposition): تقوم تقنية التقسيم إلى أجزاء مختلفة بتقسيم الشبكة إلى شبكات فرعية مستقلة متباينة بحيث يمكن حلها بسهولة. يتمَّ الحصول على برنامج ما لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة الأساسية عن طريق حل هذه الشبكات الفرعية (بحيث تكون المخرجات من شبكة فرعية هي مدخلات لشبكة فرعية متتالية وهكذا دواليك) ومن ثم يتم بالبحث لتجميع هذه البرامج الفرعية لتنظيم عمليات التصميم. بالنسبة لشبكات الجي بي اس المساحية، إن تطوير خوارزمية التقسيم إلى أجزاء يمكن تحقيقها من خلال تحديد شبكات فرعية غير مثالية وإزالتها من الشبكة الأساسية، وبعد ذلك يتم حل هذه الشبكة الأساسية باستخدام الشبكات الفرعية المتبقية.

التقسيم إلى أجزاء متشابهة (Partitioning): تقوم تقنيات التقسيم إلى أجزاء متشابهة بتجزئة شبكة ما إلى شبكات فرعية صغيرة ومتماثلة. يتمَّ حل هذه الشبكات الفرعية بشكل مستقل ويتمَّ دمج برامج تنظيم العمل الحقلي التابعة لهذه الشبكات في برنامج عام لكامل الشبكة. إنه ليس من المحتمَّل أن تجمع طريقة تقريبية بين مفاهيم التقسيم إلى أجزاء متشابهة والتقسيم إلى أجزاء مختلفة. في المساحة الفضائية، يمكن تطبيق التقسيم إلى أجزاء متشابهة (ووفقاً لمتطلبات الجي بي اس) في حالة برنامج تنظيم العمل الحقلي الذي يحتوي على مجموعة من الأشعة المرصودة باستخدام عدد مختلف من أجهزة الاستقبال. مثلاً، تمَّ تحسين البرنامج الرئيسي لشبكة الجي بي اس المساحية لمالطا عن طريق التفريق بين الأشعة المرصودة باستخدام جهازين استقبال والأشعة المرصودة بثلاثة أجهزة ومن ثم ترتيب هذه الاشعة المختلفة في برامج فرعية لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة. ثم تمَّ دمج البرامج الفرعية النهائية في برنامج تنظيم رئيسي نهائي يُمثل الحل لكامل لتصميم الشبكة.

تقييد الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي (Restriction of Schedule Space)

إن الفكرة من التقييد هو السماح فقط بإجراء أساليب البحث على مجموعة من الحلول ذات خصائص محددة. في شبكة الجي بي اس المساحية، يقتصر تطبيق التقييد على مجموعة من برامج تنظيم عمليات تصميم الشبكة ولهذا يصبح من السهولة حل الشبكة باستخدام خوارزمية فعَّالة. على أي حال، إن برنامج مثالي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة مقيدة لا يكون بالضرورة هو البرنامج المثالي ذات الحدود العظمى بالنسبة للشبكة الأساسية. جميع الطرق التقريبِّية، والتي تسمح فقط بقبول حلول ممكنة في أثناء عمليات البحث، هي خوارزميات تحسين مبنية على مبادىء التقييد (Restrictive) والتكرارية (Iterative). مثلًا، إن طريقة البحث المحظور للجي بي اس والتي تعتمد على مبادىء التحرير والتقيد لأساليب البحث على برامج تنظيم العمليات ذات الميزات الخاصة هي عبارة عن منهج تقييدي حيث إنه دائماً يمكن الحصول على برنامج مقبول لتنظيم العمل الحقلي ولكن من خلال تطبيق التقييد. في هذه الفئة، على أي حال، هناك العديد من الطرق التي تحد وتُقيد من حدود الفضاء البحثي المحيط للحل المراد معالجته،

استرخاء الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي (Relaxation of Schedule Space)

إن مفهوم مبدأ الاسترخاء في هذه الفئة هو عكس مبدأ تقييد الفضاء البحثي لبرنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة. والفكرة هنا أنه بالإمكان الحصول على برنامج ممكن من خلال توسيع حدود المجال البحثي الخاص بالبرنامج (Klincewicz and Luss, 1986). مع ذلك، فقد اعتمَّدت العديد من الخوارزميات مبدأ الاسترخاء في أثناء تطبيق أساليب البحث عن الحلول مثلاً استرخاء لاغرانج (Lagrangian Relaxation) (Barcelo and Casanovas, 1984) والقيود البديلة (Surrogate Constraints) (Glover, 1977).

الخوارزميات المُركبة (Algorithms Composite)

إن الصيغة المعتمدة في الخوارزميات المركبة (عادة ما تسمى بالخوارزميات الهجينة) هي الجمع بين اثنين أو أكثر من الطرق التقريبِّية من أجل الحصول على

أفضل أداء عام. في هذه الخوارزمية المُجمَّعة، يتمَّ استخدام الخوارزمية الأولى للحصول على برنامج أولي لتنظيم العمل الحقلي، ومن ثم تطبيق الخوارزمية الثانية لتحسين هذا البرنامج (Rayward-Smith, 1995)، (Osman, 1993). مثلًا، يمكن استخدام طريقة البحث المحظور في البداية للحصول على برنامج أولي ومن ثم يتمَّ تطبيق طريقة التلدين التجريبي لتحسين هذا البرنامج.

6.3 تقييم البرمجيات المبنية على خوارزميات الذكاء الاصطناعي وقياس الأداء

إن جودة طريقة تقريبية ما يمكن تقييمها بحيث تساعد في إجراء المقارنات بين الطرق التقريبيِّة. يتمَّ عادة تحديد الجودة من خلال معايير تقييم معينة (Nielsen and Molich, 1989, 1990). يمكن تقسيم معايير التقييم في أي عملية تواجه مباشر مع المستخدم (User Interface) إلى أربع طرق أساسية:

1. تقييم رسمي باستخدام بعض طرق التحليل.

2. تقييم آلي باستخدام إجراء حاسوبي.

3. تقييم عملي بواسطة التجارب مع حالات الاختبار عندما يكون هناك حاجة إلى إجراء تقييم شامل.

4. يركز التقييم التقريبي (Heuristical Evaluation) على تقييم التواجه المباشر مع المستخدم في مسائل الحياة الحقيقية خصوصاً تلك التي يكون فيها الحل المثالي لمسألة ما غير ضروري في بعض الأحيان. يُعدُّ التقييم التقريبي الأكثر ملاءمة للمسائل التي تنضمن نموذج ذات طبيعة استراتيجية وتكتيكية (A Model Of A Strategic And Tactical Nature) حيث ستفشل الطرق الدقيقة بأن تكون فعَّالة في حل مثل هذه المسائل. وهكذا، فإن الحاجة للطرق التقريبِّية أصبح ذات أهمية متزايدة للباحثين والعاملين المهنين في ميدان البحث العملياتي والقائمين على تحليل القرار والمدراء.

توجد تسعة مبادئ عملية للتقييم التقريبي للتحقق من استخدام برمجية ما (Molich and Nielsen, 1989). في الحقيقة، هذه المبادىء ستكون صالحة بالنسبة لمعظم البرمجيات المكتوبة. تستند هذه المبادئ على اثنين من الطرق

المركبة الرئيسية في تقييم الطرق التقريبيِّة. **أولاً**، توظيف فريق من المقيمين بدلاً من الاعتمَّاد على الأفراد لإجراء التقييم. **ثانياً**، استخدام مجموعة من برمجيات التصميم التقريبيِّة لتوجيه التقييم. تمَّ اتخاذ هذه المبادئ بالحسبان عند كتابة برمجيات الجي بي اس التقريبيِّة وهي على النحو التالي:

- **الرؤية وحالة البرمجية (Visibility and Program Status)**: يجب أن تكون البرمجية بسيطة وطبيعية التصميم لتستطيع تأمين جميع المعلومات بأسلوب منطقي وإنشائي من خلال التغذية الرجعية المناسبة (Appropriate Feedback) وبفترة زمنية معقولة.

- **التطابق بين البرمجية والمساحة الفضائية (Match between GPS Surveying and Program)**: ينبغي كتابة البرمجية وفقاً لمصطلحات نظام الجي بي اس المألوفة للمهندس المساحي والتي تجعل المعلومات تظهر في ترتيب طبيعي ومنطقي، بدلاً من مصطلحات البرمجية الموجهة لأهداف خاصة (terms oriented program).

- **الحرية وتحكم المستخدم (Freedom and Control User)**: يجب أن تزود البرمجية بشكل واضح "مخارج الطوارئ" (Emergency Exits)، في حالة اختيار تابع عن طريق الخطأ فإنه يمكن مغادرة الحالات غير المرغوب بها والتي ليس لها أفق منظور.

- **الوقاية من الخطأ (Error Prevention)**: يجب أن تكون البرمجية مصممة بعناية لمنع حدوث الأخطاء التي تسبب مشكلة دوران البحث غير المجدي (cycling).

- **تصغير ذاكرة تحميل المستخدم (Minimizing the User's Memory Load)**: ليس مطلوب من المهندس المساحي أن يتذكر المعلومات من جزء إلى آخر. يمكن تحقيق ذلك من خلال تبسيط وجعل التعليمات الخاصة باستخدام البرمجية مرئية وسهلة الاسترجاع كلما كان ذلك مناسباً.

- **المرونة والكفاءة في الاستخدام (Flexibility and Efficiency of Use)**: يجب أن تزود البرمجية اختصارات ذكية (Clever Shortcuts) تجعل من السهولة بمكان التعلم وتلبية احتياجات كل من المساحين

ذوي الخبرة وغير ذوي الخبرة.

- **التصميم الأنيق والبسيط (Elegant and Minimalist Design)**: يجب أن تتجنب البرمجية استخدام المعلومات نادرة الطلب وإنما تحتوي فقط على المعلومات ذات الصلة بالموضوع الخاص المراد دراسته والتي تُسرع تفاعل المهندسين المساحين وتُبسط العمليات الحسابية.
- **مساعدة المستخدمين بالتمييز والتشخيص، والتعافي من الأخطاء**: يجب التعبير عن رسائل الخطأ (Error Messages) بشكل دفاعي يبين أوجه القصور (Deficiencies) في المسألة، ومشيراً بدقة إلى المشكلة والاقتراح البنّاء لحل ما لهذه المسألة،
- **المساعدة والوثائق (Help and Documentation)**: إن تزود المثالية، فمن الأفضل إذا كان بالإمكان استخدام البرمجية بدون توثيق. على كل حال، قد يكون من الضروري تقديم التوثيق التي ينبغي أن تكون سهلة البحث، وتركز على مهمة المهندس المساحي والقائمة الحالية للإجراءات المطلوب تنفيذها.
- **توفير التغذية الرجعية (Provide Feedback)**: يجب أن تزود البرمجية بشكل دائم المهندس المساحي بالتغذية الرجعية المناسبة لرصد التقدم المحرز نحو الحل في فترة زمنية معقولة.

إن الاعتمّاد على سهولة وقابلية استخدام الطرق التقريبية (Hheuristic Usability) يزداد طرداً مع عدد من المقيمين المستقلين للقيام بهذا التقييم. لقد أوصى الباحث نيلسون (Nielsen, 1992) بأن يتمّ التقييم التقريبي من قبل ثلاثة إلى خمسة مقيمين وإن أي موارد إضافية فهي مستهلكة على طرق بديلة للتقييم.

في هذا الكتاب، تُعد عملية تصميم شبكة الجي بي اس المحاولة الأولى التي تمَّ تنفيذها في إطار الدراسات المرجعية للمساحة الفضائية والبحث العملياتي. خلافاً لما عليه في دراسة المسائل الأخرى مثلاً، كمسألة التجمعات المكتسبة (Capacitated Clustering Problem CCP)، ومسألة المهمات المعممة (Generalised Assignment Problem GAP) التي درست بنطاق واسع وبأفكار واستراتيجيات مختلفة، وتمَّ تقييم نتائجها ومقارنتها مع بعضها

البعض. يدعو هذا الكتاب الباحثين لدراسة تصميم شبكة الجي بي اس بوجهات نظر وأفكار مختلفة لتقييم نتائجها وقابلية استخدام الطرق التقريبِّية في حلها.

قياس أداء الطرق التقريبِّية

إن العامل والاهتمَّام الأساسي باستخدام الطرق التقريبِّية هو جودة الحل الناتج. مع قلة المعرفة الواضحة عن المثالية الحقيقية (True Optimum)، إن الطريقة الفعَّالة لتقييم جودة برنامج تنظيم العمل الحقلي الناتج بالطرق التقريبِّية بمقارنته مع برنامج معروف ومثالي (Known Optimal Schedule) (انظر الجزأين 4.5 و5.5). إن تقييم أداء الطرق التقريبِّية قد يكون صعباً للغاية بالنسبة للشبكات ذات الأبعاد الكبيرة التي تكون فيها البرامج المثالية لتنظيم عمليات تصميم هذه الشبكات غير معروفة. إن الإجراء البديل الذي تمَّ اعتمَّاده في هذه الدراسة هو تطبيق عدة طرق تقريبية على دراسة شبكة كبيرة ومن ثم تأمين المقارنات للبرنامج الناتج. يمكن مشاهدة أمثلة عن هذه المقارنات بالنسبة للشبكات الكبيرة في الفصل 6 لشبكة مالطا وفي الفصل 7 لشبكة سيشيلز. لمزيد من التفاصيل حول إجراءات تقييم الأداء الأخرى. عندما يتمَّ الحصول على نتائج أي طريقة تقريبية، يجب التحقق من عدة أهداف كما يلي:

- تقدير جودة برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة الأقل كلفة والوقت المستغرق لإنجازه.
- سرعة الطريقة التقريبِّية للجي بي اس في إيجاد برنامج تنظيم العمل الحقلي الأقل كلفة، وإلى أي مدى الفرق في القيمة بين هذا البرنامج الناتج ومجموعة البرامج المجاورة الأخرى.
- المفاضلة القسرية بين جودة البرنامج الناتج وجدوى هذا البرنامج (Feasibility).

لتحقيق النقاط المذكورة أعلاه في قياس أداء الطرق التقريبِّية، يجب مناقشة عدة نواحي كما يلي:

المرونة (Flexibility): لإنتاج أفضل برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة باستخدام الطرق التقريبِّية، من الأهمية بمكان أن تكون هذه الطرق مرنة في التعامل مع التغييرات في النموذج.

المتانة (Robustness): تُمثِّل هذه الصيغة قدرة البرمجيات التقريبِّية للجي

بي اس، بشكل أتوماتيكي أو تلقائي، إنتاج برامج تنظيم عمليات تصميم ممكنة وعالية الجودة وتطبيق التحليل العددي لمعامل الطريقة (Parametric Analysis) (Stewart et al.، 1995).

جودة البرنامج (Quality of Schedule): بعد الحصول على البرنامج الأقل كلفة، فإن الموضوع المهم هو الانحراف النسبي (Percent Deviation) عن المثالية (Optimality). لمزيد من التفاصيل حول المقارنة بين أداء الطرق التقريبِّية (Gendreau et al.،1994).

الزمن الحسابي (Computation Time): إن الجزء المهم من استخدام الطرق التقريبِّية في المساحة الفضائية السرعة في الحصول على برنامج تنظيم العمل الحقلي الأقل كلفة عن طريق قياس الزمن اللازم لتنفيذه والاعلان عن هذا البرنامج الأقل كلفة والزمن الحسابي الكلي.

إعلان الزمن الحسابي للبرنامج الجيد *(Reporting Good Schedule Time)*: يجب أن يشمل هذا الزمن كل أساليب وإجراءات البحث المنفذة (Pre-Processing and Process) لإنتاج أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي (the best-found schedule).

زمن التنفيذ الكلي *(Total Execution Time)*: الزمن الفعلي لعمل الطرق التقريبِّية للجي بي اس قبل إنهاء عملها وفقاً لصيغة الإيقاف.

التعميم (Generability): قدرة الطرق التقريبِّية للجي بي اس المطوَّرة للتعامل مع مجموعة واسعة من شبكات الجي بي اس ذات الأشكال المختلفة.

7.3 الاستنتاج

بالخلاصة، يمكن تبيان عدد من مزايا التقييم التقريبي: بديهية وتؤمن بنجاح الحلول القريبة من المثالية لمسائل الحياة الواقعية المعقدة بزمن حسابي مقبول وبمتطلبات سعة تخزين مقبولة (Reasonable Storage Space). ومع ذلك، فإن تصميم طريقة تقريبية جيدة يعتمد على خبرة ومهارة المصمم وطبيعة المسألة المراد تحسينها. في المساحة الفضائية، تزداد صعوبة وتعقيد عملية رصد شبكات الجي بي اس مع ازدياد حجمها ويصبح من الصعب جداً أن تُحل بشكل فعَّال.

إن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة إيجاد البرنامج الفعلي لتنظيم العمل الحقلي بأقصر مدة زمنية وبأقل كلفة ممكنة بتطبيق طرق التلدين التجريبي والبحث المحظور التقريبيِّة على مسألة المساحة الفضائية. سيتمَّ في الفصلين 4 و5 عرض برامج مثالية لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكات افتراضية وحقيقية صغيرة مع إجراء المقارنات من حيث جودة هذا البرنامج والزمن الحسابي للحصول على برامج تنظيم العمل الحقلي بتطبيق الطرق التقريبيِّة المطوَّرة للجي بي اس.

الفصل الرابع

خوارزمية التلدين التجريبي لتصميم شبكة الجي بي اس

1.4 مقدمة

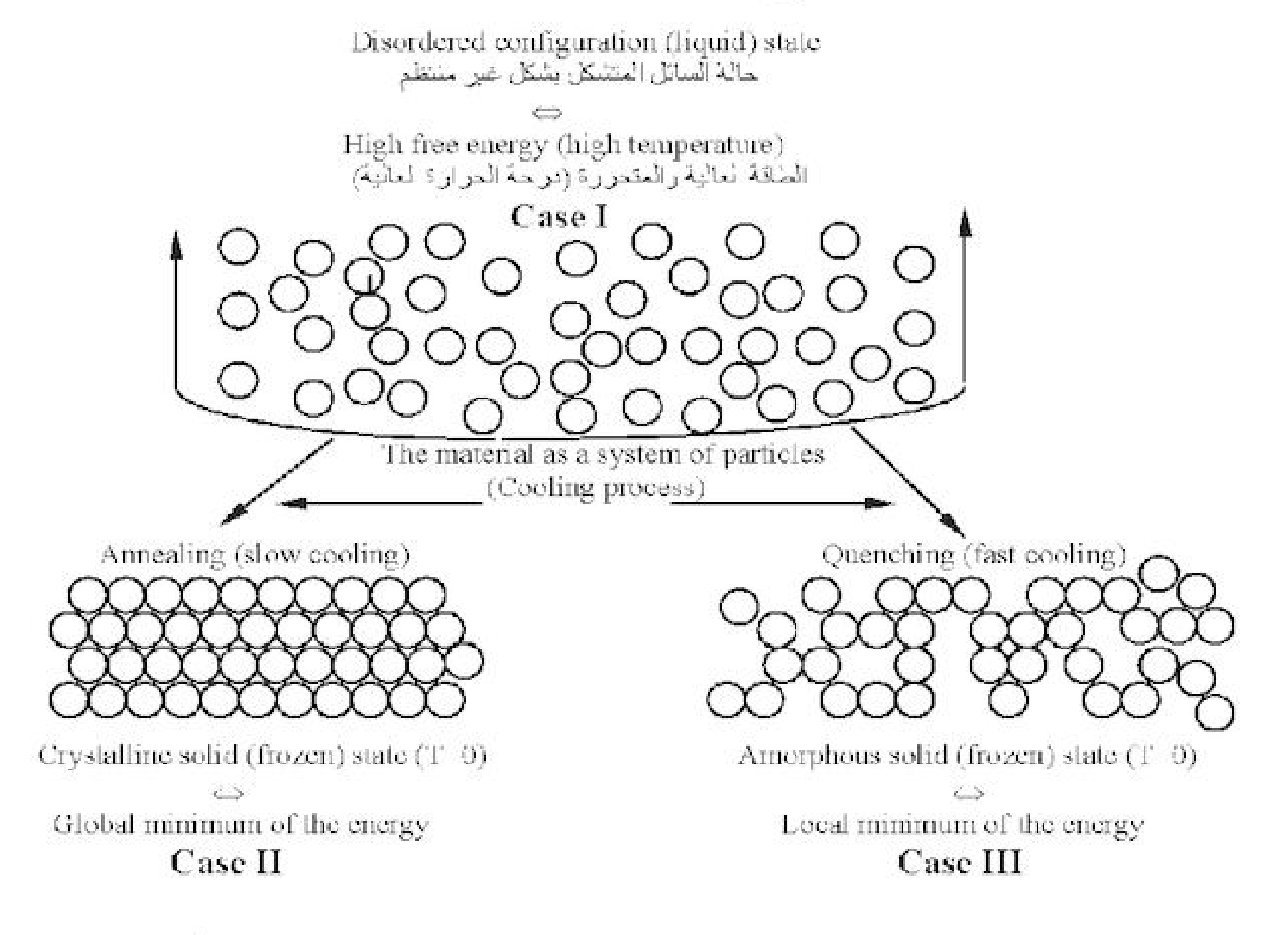
في هذا الفصل، ستتم مناقشة طريقة التلدين التجريبي بشكل مفصل بالنسبة لشبكات الجي بي اس. وسيتم تبيان ومقارنة أوجه التقارب بين شبكة الجي بي اس كمسألة تجميع توافقية وطريقة التلدين التجريبي، مع عرض أداء هذه الطريقة على التطبيقات الأخرى. سيتم شرح وتطبيق طريقة استخدام التلدين التجريبي لإيجاد البرنامج الأقل كلفةً لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة. وأخيراً يتم التحقق من صحة نتائج وعمل هذه الطريقة باستخدام شبكات صغيرة نسبياً وذات برامج تنظيم عمليات مثالية ومحسوبة مسبقاً باستخدام الطرق الدقيقة.

2.4 أداء طريقة التلدين التجريبي وتطبيقاتها العملية:

كما ذكر سابقاً، يستند المفهوم العام للطرق التقريبِيَّة على البحث المناسب للفضاء البحثي لترتيب حلول المسألة وتشكيلها. حيث تتحقق طريقة التلدين التجريبي من هذا الفضاء بالمرور من ترتيب إلى آخر باستخدام طريقة أو إجراء تحول خاصة. ويمثل هذا الإجراء الإنتاج المستمر لسلاسل ماركوف (Markov Chains) في كل تحول باستخدام صيغة خاصة للقبول تسمى قانون محاكاة متروبوليس (Metropolis)، ومن هنا فإن مصطلح التلدين التجريبي يشير إلى اعتماد

هذه التقنية بالتزامن والاقتران مع التبريد (التصلب أو التلدين) لدرجة الحرارة.

إن الفكرة الرئيسية في هذه التقنية هو محاكاة عملية التبريد لمادة (مجموعة من الجزيئات)، شعاع قياس في سياق الجي بي اس، في مرجل حراري. يوضح الشكل 1.4 الشكل المادي (الفيزيائي) للخصائص الهيكلية للمادة في إطار عملية التبريد والذي يعرف باسم التصلب. على سبيل المثال، تبين الحالة (I) عملية الإذابة أو التمييع لمادة صلبة (الكريستال) في مرجل حراري عن طريق زيادة درجة الحرارة إلى أقصى قيمة عالية والتي تجعل جميع الجزيئات المكوَّنة للكريستال ترتب نفسها بشكل عشوائي في طور المرحلة السائلة. تبين الحالة (II) الوضعية (المشابهة للبرنامج الأقل كلفة لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة الجي بي اس) الناتجة بتطبيق التبريد البطيء جداً (التصلب)، بينما تبين الحالة (III) المخالفات والعيوب على نطاق واسع في التلدين البلوري (المشابه للبرنامج الأكثر كلفة لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة الجي بي اس) الناتجة بتطبيق التبريد السريع للحالة (I).



الشكل 1.4. التشكل المادي لحالات الكريستال (المتبلورة) والهشة (غير متبلورة) تحت تأثير عملية التبريد.

كما هو مبين أعلاه، من الملاحظ أن الوضعية المجمدة تتأثر وفقاً لمعدل تبريد جزيئات المادة السائلة. حيث تحاكي خوارزمية التلدين التجريبي التغير في الطاقة (التكلفة في سياق الجي بي اس) لهذه المادة عندما تتعرض

لعملية التبريد حتى تحولها إلى الوضعية المجمدة الثابتة (المشابهة للحالة التي لا يمكن الحصول على أي تحسن إضافي في التكلفة). تمَّ استخدام طريقة مونتي كارلو (Monte-Carlo MC) من قبل متروبوليس وآخرون (Metropolis, et. al., 1953.) لتقدير التوازن الحراري لكريستال ما من أجل قيمة ثابتة لدرجة الحرارة T.

إن أساس طريقة التلدين التجريبي تنبثق من العلوم الفيزيائية (Physical Science) وبشكل خاص الميكانيك الإحصائي(Statistical Mechanics) في بداية الخمسينيات. بعد ثلاثين عاماً من ذلك، تطورت هذه الطريقة بشكل ملحوظ من خلال التطبيقات العملية للثرموديناميك الحراري (Statistical Thermodynamic) لأعمال ميتروبولس (Metropolis) وأحرزت نتائج عظيمة لمسائل تجميعية توافقية مهمة جداً من الحياة العملية (Kirkpatrick et al., (1983), Cerny, (1985)). إن المصدر الأساسي لهذه التقنية هي قوانين الديناميكا الحرارية التي تنص على أنه في درجة حرارة (T)، وإن احتمال حدوث زيادة في الطاقة يعطى بالعلاقة التالية:

$$P = \exp(-\Delta / k * T) \qquad (1.4)$$

حيث (Δ) هو الفرق في تابع التكلفة (الطاقة) و(k) هو الثابت المادي المعروف باسم ثابت بولتزمان (Boltzmann’s constant).

إن الفكرة الرئيسية لاعتماد محاكاة متروبوليس هو إنتاج سلاسل لحالات الكريستال (الاضطرابات) ومن ثم حساب التغير في الطاقة الناتجة من هذه المنظومة خلال سير مراحل عملية التبريد، أنظر (Aarts and Korst, 1989)، (Dowsland, 1993) (Rene, 1993). يبين الشكل 2.4 الإجراء العام لتطبيق هذه التقنية.

في سياق التحسين التوافقي، إن الكلفة الأقل لبرنامج تنظيم العمل الحقلي مماثلة للقيمة الدنيا لحالة الطاقة، ولذلك هناك الكثير من أوجه التشابه بين التحسين التوافقي وعمليات التصلب أو التلدين في الفيزياء (Hajek, 1985). تمَّ استبدال ميزة التوازن الحراري بالتوازن المعتمد في عملية ماركوف حيث تمَّ اقتراح سلاسل ماركوف كنماذج رياضية لطريقة التلدين التجريبي لإنتاج تراتيب

أو تشكيلات لمسألة مراد تحسينها وعن الزمن المعطى عند كل درجة حرارة، وهذه الطريقة تنتج حلاً ذا تحسين أعظمي (global optimum) باحتمال قبول ما. لتوضيح العلاقة بين أسلوب محاكاة الديناميكا الحرارية، وعمليات التحسين التوافقي وشبكة الجي بي اس.

- انتقاء برنامج تنظيم عمليات (V) معطى للشبكة.
- إنتاج برنامج تنظيم عمليات جديد (V’) من خلال تطبيق تغيير صغير (اضطراب) للأشعة الزمنية التي تم اختيارها عشوائيا في (V).
- حساب (Δ=V’-V) الفرق بين قيمة التكلفة لجداول تنظيم العمليات أعلاه.
- إذا كانت قيمة (Δ) سلبية، يتم قبول برنامج تنظيم عمليات الجديد(V’) وتستمر عملية الانتقال من البرنامج الجديد حتى يتم الحصول على برنامج بأقل كافة ممكنة.
- إذا كانت قيمة (Δ) موجبة، يتم قبول البرنامج الجديد وفقاً لتابع احتمال القبول الوارد في المعادلة (1.4)

الشكل 2.4 المفهوم العام لطريقة التلدين التجريبي

يبين الجدول 1.4 أوجه التطابق بين شبكة الجي بي اس كمسألة تحسين التوافقي وبين طريقة التلدين التجريبي. في هذا التشابه أعلاه، إن الحلول الممكنة لمسائل التحسين التجميعي تمثل حالات المادة (I, II, III) في الشكل 1.4. إن قيم دالة الكلفة للحلول تمثل مقدار الطاقة في حالات المنظومة. إن الطاقة ذات الحد الأدنى الأعظمي (Global Minimum Energy) تتجاوب (أو تقابل) الحل المثالي (التصلب)، في حين إن الطاقة ذات الحد الأدنى المحلي (Local Minimum Energy) تقابل الحل غير الجيد (التبريد) كما هو مبين في الشكل 1.4. عندما تكون درجة الحرارة الخارجية صفراً، فإنه لا توجد حالة تحول يمكن أن تؤدي إلى حالة ذات طاقة عالية. طالما أن درجة الحرارة ليست صفراً، فإن طريقة التلدين التجريبي تسمح بحدوث الحركات ذات الاتجاه صعوداً من حالة إلى أخرى على أن تبقى ممكنة تحت تحكم درجة الحرارة.

بتخفيض درجة الحرارة ببطء من مستوى الطاقة الحالي للمنظومة حتى الوصول إلى حالة تجمد، فإنه بالإمكان تجنب القيمة المحلية الصغرى (Local Minimum) وبالتالي الحصول على الكريستال القوي (باستخدام تشابه السوائل). لذلك من الواضح عند درجات الحرارة المرتفعة، يكون فقط مبدأ سلوك الحبوب الخشنة (Coarse Grain Behaviour) لدالة الهدف ذات أهمية بالنسبة لأساليب البحث. مع تناقص درجة الحرارة، يتم فحص ودراسة سلوك مبدأ الحبوب الدقيقة (Finer Grain Behaviour) لهذه الدالة والذي يؤدي في نهاية المطاف إلى الحصول على الحد الأدنى الأصغري أو الأعظمي (Local or Global Minimum) لدالة الهدف.

المكونات Components	الحالة السائلة Fluid analogy	شبكة الجي بي اس GPS (Network)
Parameters of the problem بارامترات أو معامل المسألة	System of particles منظومة الجزيئات	Observed sessions الأشعة الزمنية المرصودة
Feasible solutions الحلول الممكنة	States of the solid (Crystals) حالات المادة الصلبة (الكريستال)	Feasible schedules الجداول الممكنة لتنظيم العمليات
Objective function دالة الهدف	Internal energy of the states الطاقة الداخلية للحالات	Cost function دالة التكلفة
Optimal or "close" solution (heuristic solution) الحل المثالي (أو القريب من المثالي) (الحل الهيروستيكي أو التقريبي)	Minimum energy الطاقة الدنيا (frozen state) (حالة التجمد)	البرنامجCheapest schedule الأقل كلفة (approximate schedule) (البرنامج التقريبي)
Local search البحث المحلي	Change of state (rapid quenching) تغير الحالة (التبريد السريع)	Local neighbourhood مجموعة البرامج المجاورة محلياً للبرنامج الممكن
Control component عنصر التحكم	Temperature الحرارة	الحرارةTemperature

الجدول 1.4 أوجه التطابق والتشابه بين شبكة الجي بي اس كمسألة تحسين وبين طريقة التلدين التجريبي

أداء طريقة التلدين التجريبي ونجاحها في حل مسائل التحسين التوافقي

إن التلدين التجريبي طريقة لإيجاد الحد الأدنى أو القريب منه لدالة هدف ما ذات متغيرات كثيرة للعديد من مسائل التحسين التجميعي الكبيرة. هذه الطريقة التي تسمى «التبريد الإحصائي» (Statistical Cooling SC) (Van Laarhoven and Aarts, 1988)، أو «الصعود الاحتمالي» (Probabilistic Hill Climbing) PHC (Romeo and Sangiovanni-Vincentelli, 1985)، تتحول بشكل متقارب باتجاه الحل. تُظهر النتائج التجريبية بأن طريقة التلدين التجريبي قد أثبت فعَّاليتها على مجموعة واسعة من هذه المسائل وأعطت نتائج جيدة جداً خصوصاً في مسائل تصاميم الحاسوب وغيرها من المجالات الأخرى وذلك عندما يتم تحديد دالة الهدف (التكلفة) بشكل مناسب.

3.4 استراتيجية طريقة التلدين التجريبي لتصميم شبكة الجي بي اس

تمَّ في هذا الكتاب تطبيق طريقة التلدين التجريبي على شبكات الجي بي اس. خاصة بإيصال الحالة السائلة للجزيئات «الأشعة» إلى حالة الطاقة المنخفضة كإنتاج الكريستال القوي (برنامج جيد) والذي أخذ بعين الاعتبار في (Saleh and Dare, 1997c) وستشرح هنا. تتكون حالة التصلب بذوبان (تجميع) السائل (مجموعة من الأشعة) ثم تخفيض الحرارة (انقاص قيمة معامل التحكم) ببطء حتى تشكيل أقوى كريستال (البرنامج الأقل كلفة) (الشكل 1.4).

لكي يتم تطبيق طريقة التلدين التجريبي لتصميم شبكة الجي بي اس، فإنه يستلزم التأمين الصحيح والمناسب للمركبات الأساسية المكوَّنة لهذه الطريقة. أولاً) الخيارات الخاصة بالجي بي اس وهي مجموعة العناصر المتعلقة بطبيعة شبكة الجي بي اس المرصودة وشكلها والتي تحدد الطريقة التي يتم بها نمذجة هذه الشبكة بحيث تنسجم مع إطار عمل طريقة التلدين التجريبي. وبعبارة أخرى، تتضمن هذه الخيارات: الفضاء البحثي المحيط Q(V) ببرنامج تنظيم العمل الحقلي الممكن ومجموعة البرامج المجاورة له I(V)، تابع كلفة البرنامج C(V)، والطريقة التي يتم الحصول بها على البرنامج V. ثانياً) الخيارات العامة بالجي بي اس وهي مجموعة العناصر التي تحكم عمل طريقة التلدين التجريبي ذاتها، وهي مركبات مخطط التبريد (Cooling Scale): عامل التحكم بالحرارة

(T) وقيمته الأولية للبدء، عامل تعديل الحرارة (F)، عدد العمليات التكرارية بين التخفيضات لكل درجة حرارة (L)، وشرط الإيقاف الذي بموجبه سيتم إنهاء عمل الطريقة. (Osman and Potts, 1989) (Reeves, 1993).

الأسئلة الرئيسية المتعلقة بطريقة التلدين التجريبي والتي تمَّ اختبارها على أشكال مختلفة من الشبكات:

- كيف يتم اختيار التبادلات بين الأشعة المستخدمة ؟
- كيف يتم تحديد درجة الحرارة ''معامل التحكم» وضبطها؟

الخيارات الخاصة بالجي بي اس

وهي مجموعة العناصر المتعلقة بطبيعة شبكة الجي بي اس المساحية المرصودة وشكلها والتي تحدد الطريقة التي يتم بها نمذجة هذه الشبكة بحيث تنسجم مع إطار عمل طريقة التلدين التجريبي، وتتكون من:

- البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي

يمكن إيجاد البرنامج الأولي V ذات الكلفة C(V) لطريقة التلدين التجريبي يدوياً وذلك بالاعتماد على ذكاء وخبرة المهندس المصمم كما سيتم عرضه في الفصل 6 لشبكة مالطا وفي الفصل 7 لشبكة سيشيلز.

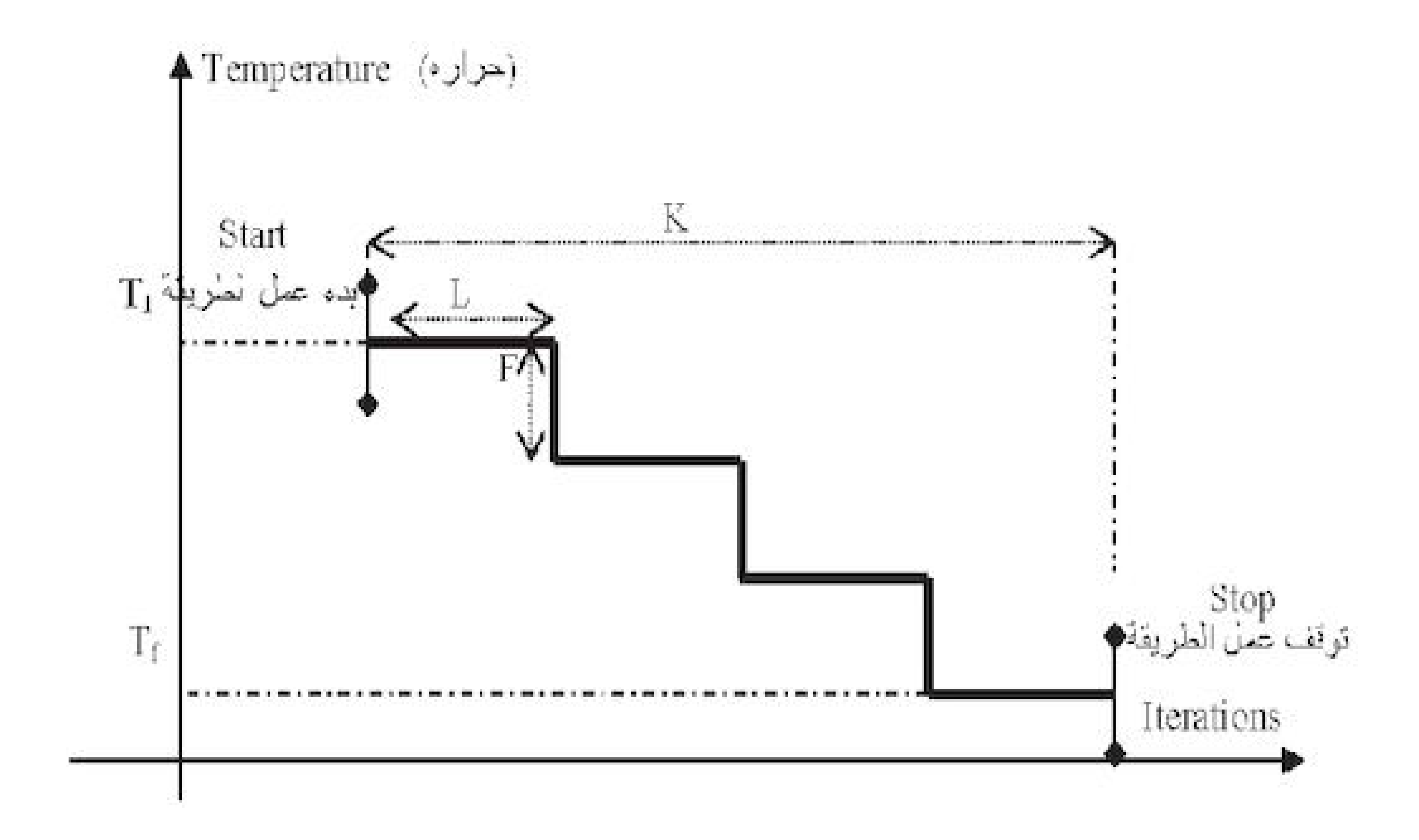
- بنية مجموعة البرامج المجاورة

بعد انتقاء البرنامج الأولي (بشكل كيفي أو إنشائي) تقوم طريقة التلدين التجريبي بتحسين هذا البرنامج من خلال إجراء بعض التغيرات المحلية (تبديل مواقع الأشعة المجاورة لبعضها البعض). يتم تشكيل مجموعة البرامج المجاورة والمشتقة من البرنامج الأولي بتغيير مكونات هذا البرنامج بتطبيق بعض الانتقالات الخاصة (Specific Move Types). اقترح الباحث Lin (Lin 1965) آلية تشكيل مجموعة البرامج المجاورة باستخدام أسلوب معامل ((λ-opt) المثالي المبني على تبادلات أقواس طريقة البائع المتجول (TSP)، حيث يمثل العامل (λ) عدد التبادلات الداخلية وهي في هذه الحالة تعطى القيمة (1).

تمَّ في هذا الكتاب اعتماد الأسلوب ذاته المبني على تبادلات الأشعة للشبكة المراد تصميمها والذي يستخدم انتقالات خاصة تناسب عمل نظام الجي بي اس. إن البرامج المتشكلة (V1,V2......Vn) الناتجة بتطبيق منهجية المبادلة (Swap) على البرنامج المعطى (V) تسمى بمجموعة البرامج المجاورة للبرنامج

(V) وتعطى الرمز (V)I. ويحسب حجم هذه مجموعة بالمعادلة 2.4 كما يلي:
(2.4) !(1-U)U=I

يتم تقسيم المعادلة المذكورة أعلاه بنسبة 2 إذا كانت مصفوفة الكلفة الفعلية متماثلة (Symmetric)



الشكل **3.4** العناصر المحددة لمخطط التبريد.

الخيارات العامة بالجي بي اس

تحكم هذه الخيارات عمل طريقة التلدين التجريبي ذاتها وهي مرتبطة بشكل رئيسي بمركبات مخطط التبريد (**cooling scale**). تمَّ تبيان سلوك التوازن لعملية التصلب وتوصيفها باستخدام نظرية سلاسل ماركوف بشكل موسع ومفصل، انظر (**Seneta 1981**). إن إنشاء مخطط مقياس التبريد المناسب هو نوعٌ ما من عملية التجربة والخطأ. يعرض الشكل 3.4 المعاملات التي تحدد مدى احتمال قبول انتقال غير جيد كتابع للحرارة في أثناء تطبيق عملية التحسين، ويمكن تلخيصها على النحو التالي:

- **درجة الحرارة البدائية (Initial Temperature, Ti)**

في هذه الدراسة، إن درجة الحرارة ليست إلا عامل التحكم (Control Parameter) لضبط عمل طريقة التلدين التجريبي خلال مراحل تبادل القياسات الزمنية فيما بينها لإنتاج البرنامج الأقل كلفة لتنظيم العمل الحقلي. تعطى الحرارة الرمز T وهي عبارة عن عدد تتغير قيمته خلال المراحل المتعاقبة لعمليات التحسين وليس له

أي صفة فيزيائية. في بداية عمليات التحسين تكون قيمة T كبيرة مماثلة لدرجة الحرارة العالية للمادة في حالة الانصهار وهكذا يتم قبول الكثير من الانتقالات ذات الاتجاه صعوداً. وبعد ذلك تبدأ قيمة T بالنقصان المتدرج خلال سير عمليات التحسين وهذا ما يجعل من الصعب قبول المزيد من الانتقالات ذات الاتجاه صعوداً.

إن اختيار درجة الحرارة المناسبة هو جزء مهم لتحقيق نتيجة جيدة. ومع ذلك، إن القيمة العالية لدرجة الحرارة الأولية (Ti) يجب أن تضمن الوصول إلى جميع البرامج الممكنة باحتمال عال وذلك لمنع الوقوع في مطبات قيمة الدنيا المحلية (Local Minima). من ناحية أخرى، فإن درجة الحرارة النهائية (Tf) يجب أن تكون منخفضة بما فيه الكفاية لضمان الحصول على كافة التحسينات الممكنة في البرنامج الذي تمَّ الحصول عليه وبالتالي لم يعد هناك إطلاقاً أي مجال آخر للبحث عن تحسينات أخرى (حالة التجمد). يتم الحصول على هذه المعلومات بإجراء دورة من حالات البحث المحلية التي تنتج المجال بين أكبر وأصغر تغيير في قيم دالة الكلفة. مثلاً، إن معدل التذبذب (التفاوت) الأولي (Initial Variation Average) للانتقالات ذات الاتجاه صعوداً (Uphill Moves) يمكن تقديره يدوياً بإجراء عدد من الانتقالات العشوائية (Random Moves) قبل بدء عمل طريقة التلدين التجريبي ذاتها. يعتمد الأسلوب المستخدم في تحديد هذه الانتقالات العشوائية على مساحة الشبكة المراد تصميمها وخبرة وذكاء المهندس المساحي.

سيتم في هذه الدراسة مناقشة هذين السؤالين الأساسين حول مخطط التصلب، وهما:

- كم يجب أن تبلغ قيمة درجة الحرارة لشبكة الجي بي اس المراد رصدها (البرنامج الأولي) قبل البدء بالتصلب؟
- ما هو مقدار القيمة اللازمة لتبريد هذه الشبكة بحيث تنتج البرنامج الأقل كلفة؟

إن الإجابة على هذه الأسئلة تعتمد كلياً على نوع الشبكة المساحية المراد رصدها (مضلع مفتوح أو مغلق) (Traverse or Triangulation)، وكبر أبعادها قدر الإمكان.

-عامل تعديل الحرارة (Cooling Rate, F)

يشير هذا العامل إلى إنقاص درجة الحرارة الحالية (Tk) ومهمته تعديل وضبط سلوك عمليات التبريد خلال مراحل التحسين. إن المعدل الذي يتم فيه تقليل درجة الحرارة مهمٌ جداً في تحقيق نجاح طريقة التلدين التجريبي. وهناك العديد من الطرق المستخدمة في تعديل تبريد درجة الحرارة بشكل متسلسل (Aarts et. al., 1984). قدم الباحث كونولي قانون تبريد غير متناسق (Non-Monotonic Cooling Rule) بحيث يتم تعيين (Reset) قيمة ما لدرجة الحرارة مرة واحدة فقط وهذا يحدث حالما تتشكل مجموعة برامج تنظيم العمليات المجاورة دون قبول أي انتقال (Connolly 1990). بعد هذا التعيين، تستمر محاولات البحث لعدد محدد مسبقاً من العمليات التكرارية وتحت تأثير درجة حرارة ثابتة. يمكن استخدام هذا القانون غير المتناسق للتبريد في المسائل التي تحتوي على مثالية خفيفة (Shallow Optima) (أي طوبولوجية ناعمة smooth a topology، انظر الشكل 4.4a). على كل حال، يمكن أن لايحظى تطبيق هذا القانون بنجاح في المسائل التي تحوي قيمة دنيا محلية (Deep Local Minima) (أي طوبولوجية متنافرة أو وعرة Bumpy Topology،، انظر الشكل 4.4b)، يُبين الشكل 8.4 هذا التطبيق غير الناجح للقانون المذكور لشبكة الجي بي اس في الشكل 7.4. يمكن مشاهدة أمثلة على تشكيل هذا التمثيل الطوبولوجي لقيم الكلفة في الشكل 2.6 لشبكة مالطا، وفي الشبكة 4.7 لشبكة سيشيلز.

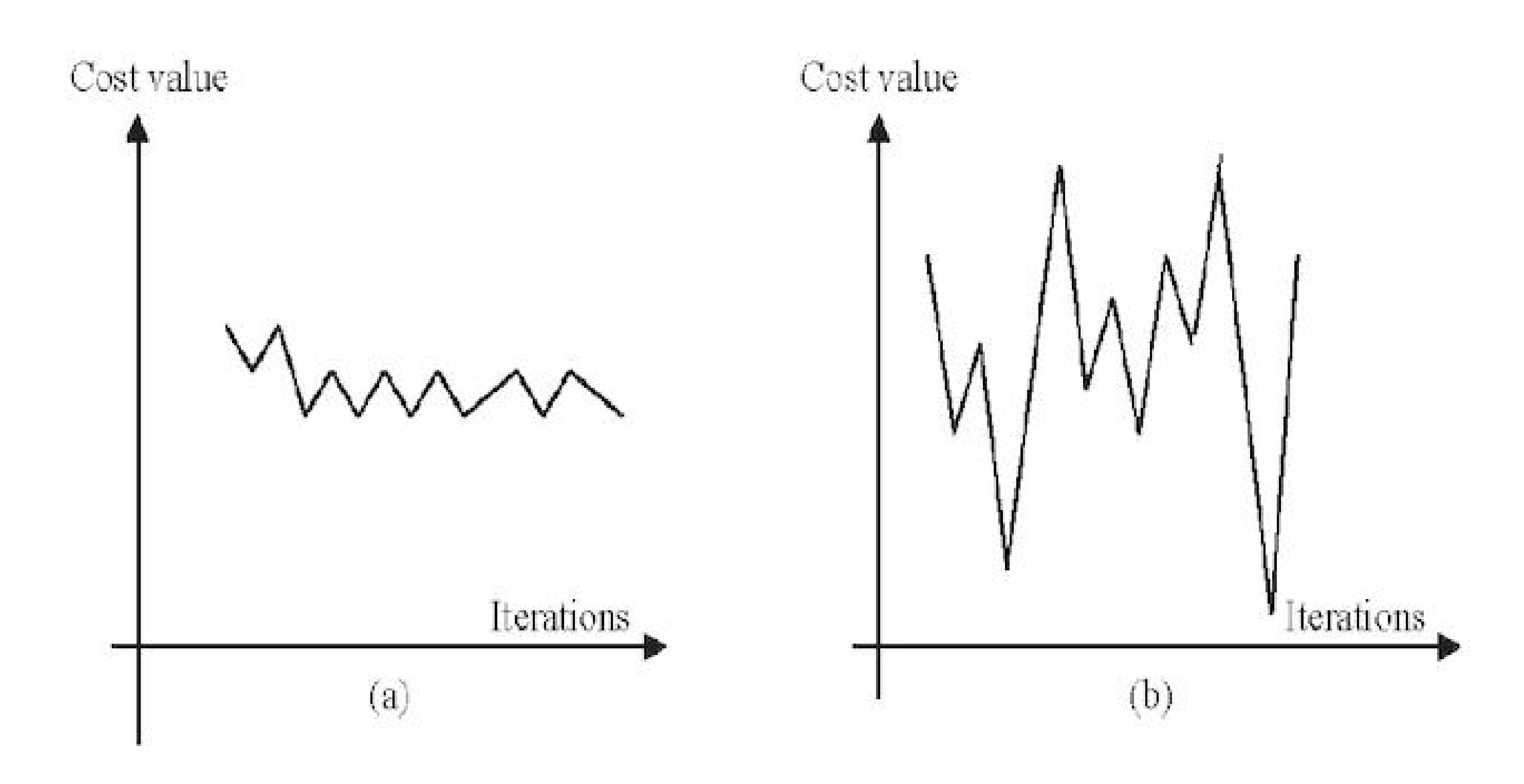
تمَّ في هذه الدراسة اعتماد مخطط التبريد الهندسي (Geometric Cooling Scale) الذي يناسب الطبيعة الثابتة (Static Nature) لشبكة الجي بي اس المساحية باستخدام المعادلة 3.4 كما يلي:

$$(3.4)\quad T_{k+1} = F.\, T_k$$

حيث (F) عامل تعديل الحرارة (قيمته صغيرة جداً لكنها قريبة من الواحد)

لا توجد طريقة أساسية لتشكيل قيم وحيدة أو ثابتة لتحديد مقدار التخفيض في درجة الحرارة في الدراسات المرجعية للبحث العملياتي. إن القيم التجريبية لعامل التعديل (F) الناتجة من تحليل شبكتي الجي بي اس في الفصول 6 و7 هما 0.80 و0.95، وهذه القيم المتوافقة مع بعض الدراسات المرجعية في هذا

المجال، انظر (Kirkpatrick, et. al., 1983) (Aarts and Van Laarhoven, 1985). في هذه الدراسة، تمَّ تطبيق قانون تحديث درجة الحرارة المبيَّن أعلاه الذي يعتمد على التغير في دالة الكلفة.



الشكل 4.4 التمثيل الطوبولوجي لقيم تابع الكلفة.

- عامل طول سلسلة ماركوف

يمثل عامل طول سلسلة ماركوف (Markov Chains, L) عدد الانتقالات المتكررة، بين تخفيضات درجة الحرارة، والمتشكلة عند قيمة درجة حرارة معطاة أو محددة مسبقاً. تحوي كل سلسلة من سلاسل ماركوف العدد ذاته من العمليات التكرارية الجزئية (Iterations) الموافقة لقيمة معينة للحرارة T خلال فترة زمنية ثابتة. يعتمد عادة عدد هذه العمليات المنفذة (أي عدد التبادلات المدروسة) على ضخامة برنامج التنظيم أو أحياناً على حجم مجموعات البرامج المجاورة، التي يمكن أن تختلف من درجة حرارة إلى أخرى (Osman, 1996). لذلك فإن عامل طول سلسلة ماركوف مهم ومباشر في تحديد عمل الطريقة. للحصول على نتائج جيدة فإنه مطلوب إجراء عمليات تكرارية كثيرة ولكن هذا يستلزم زمناً حسابياً أكبر. وهكذا يؤمن عامل طول سلسلة ماركوف منهجاً مباشراً ومرناً لتحقيق التوازن القسري في أساليب التحسين (Trade-Off) بين الزمن الحسابي للحصول على البرنامج وجودته. في هذه الدراسة، تمَّ تطبيق سلسلة

ماركوف بطول ثابت (أي معدل التخفيض ثابت) والذي يناسب الطبيعة الثابتة لشبكة الجي بي اس.

عدد العمليات التكرارية

في معظم الحالات العملية، تُمثل هذه المعايير صيغة الإيقاف الشرط الذي يجب أن تتوقف عنده الطريقة عن العمل. وتوجد في بعض الدراسات المرجعية مجموعة من الصيغ والشروط المعتمدة لإيقاف عمل طريقة التلدين التجريبي (Stopping Criteria, K)، كالتي تعتمد على نوعية المسألة المراد معالجتها (Hajek, 1988). أولاً، صيغة إيقاف عمل الطريقة التي تعتمد على تنفيذ عدد ثابت من مراحل تخفيض درجة الحرارة (أي عدد محدد مسبقاً من العمليات التكرارية (Number of Iterations K)) (Bonomi and Lutton, 1984). ثانياً، صيغة إيقاف عمل الطريقة التي تعتمد على تخفيض درجة الحرارة خلال تنفيذ تحسين دالة الكلفة للبرامج الناتجة. إذا كانت المجموعة الأخيرة من البرامج الناتجة تحوي نفس دالة الكلفة والموافقة لطول سلاسل ماركوف المتتالية (مثلاً، خمسة برامج) أي متماثلة، فإن الطريقة توقف عملها. إن معيار أو صيغة الإيقاف النهائية التي تمت مناقشتها هنا تتضمن الصيغتين المذكورتين أعلاه. إن هذه الصيغ أو المعايير التي تمَّ تعريفها وتطبيقها في هذه الدراسة تعالج بعض العيوب المتأصلة في الصيغتين أعلاه وتتوافق مع طبيعة شبكة الجي بي اس.

التطبيق العملي لطريقة التلدين للجي بي اس

تمَّ تصميم طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس المستخدمة في هذا الكتاب وتطويرها بشكل رئيسي من الخبرة العملية ومتطلبات الجي بي اس. تعتمد مرحلة تشكيل مصفوفة الكلفة الأساسية على الدقة المطلوبة لإيجاد إحداثيات نقاط الشبكة والتي تلبي المتطلبات المساحية (Dare, 1995). مثلاً، إن انتقاء شعاع بحيث يغطي مسافة طويلة جداً سوف يُحسِّن أساليب التوجيه والقياس (Orientation and Scale)، بينما انتقاء أشعة قصيرة جداً سيحافظ على الدقة من خلال تقليل تأثير الأخطاء. يتطلب هذا الانتقاء إجراء بعض محاولات التجربة والخطأ (Trial-and-Error) قبل أن يتم

اتخاذ الخيار المناسب، ويكون للخبرة العملية وحدس المهندس المساحي دوراً مهماً في تنفيذ هذا الانتقاء المناسب. إن الكلفة التقديرية لنقل جهاز الاستقبال بين نقطتين مساحيتين تتضمن الأسعار الحالية لاستخدام مركبات العمل الحقلي ويمكن أن تخضع للتعديل بسبب الظروف التي قد تؤثر على خطة العمل الموضوعة لتنفيذ كامل الأعمال المتعلقة بتصميم الشبكة. وبالتالي، يمكن أن يستخدم تابع الغرامة (Penalty Function) لتحقيق التوازن بين هذه الفروقات في الكلفة.

تتكون مرحلة إيجاد مصفوفة الكلفة الفعلية من تحديد الأشعة المراد رصدها والتي تعتمد على العدد المطلوب لأجهزة الاستقبال المستخدمة في رصد الشبكة المساحية. تتضمن مرحلة تحديد البرنامج الأولي الأسلوب المتبع لإنشاء هذا البرنامج والتي تبدأ بترتيب وتنظيم الأشعة المنتقاة للرصد والمعتمدة على الهدف من الشبكة المساحية (Dare, 1995). يمكن اعتبار هذه المرحلة كتمثيل لحل (برنامج تنظيم العمل الحقلي) شبكة الجي بي اس المساحية. يمكن تمثيل برنامج ممكن (V) لشبكة الجي بي اس بالشكل {V=V1,.....,Vn} حيث يتضمن كل برنامج (V) مجموعة من الأشعة، والهدف إيجاد البرنامج الأقل الكلفة. تُمثِّل هذه المراحل لطريقة التلدين التجريبي الخيارات الخاصة بالجي بي اس (GPS-Specific Choices) والتي تكون فيها الخبرة العملية للمهندس المصمم دوراً مهماً في تنفيذ المراحل المذكورة أعلاه.

إن عناصر التحكم الأساسية لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس والتي تمثل المرحلة البدائية لعمل الطريقة، تتضمن تحديد معامل مقياس مخطط التبريد. يتم اختيار هذه المعامل بالاعتماد على المعلومات المتاحة حول الشبكة، والتي يمكن الحصول عليها بإجراء عدد من دورات بحث محلية. تؤمن هذه الدورات: المجال بين أكبر وأصغر تغيير في قيم دالة الكلفة، والعدد الإجمالي للبرامج الممكنة المتعلقة بحجم مجموعة البرامج المجاورة. يتم إنتاج هذه المجموعة بتطبيق الانتقالات من برنامج لآخر. في هذه الحالة، يتكون الانتقال من انتقاء التبادل الثنائي بين الأشعة (اي تبديل مواضع شعاعين في البرنامج الأولي).

تسمح مرحلة الانتقاء والقبول أحياناً بقبول الانتقالات ذات الاتجاه صعوداً (Uphill Moves) وفقاً لبعض الاحتمالات الخاصة التي يتم تحديدها تبعاً لتحديث درجة الحرارة في مخطط التبريد الهندسي. يتم دائما قبول الانتقالات

ذات الاتجاه نزولاً (Downhill Moves) كما في طريقة البحث المحلي المتقارب (LSD).

تعتمد مرحلة التحديث على مجموعة من القوانين: معامل مخطط لتبريد (Cooling Scale Parameters) المستخدمة في المرحلة (4) وذلك فيما إذا تمَّ الحصول على قيمة تحسينية في المرحلة (6)، أو فيما إذا تمَّ إجراء عمليات البحث الشامل لمجموعة الجداول المجاورة. بالنسبة لمرحلة الإيقاف فإنه يمكن تنفيذها كيفياً والتي تبين الزمن المستغرق لتصميم كامل الشبكة. تُنهي الطريقة عملها عندما تكون قيمة الكلفة للمجموعة الأخيرة من البرامج المتتالية هي ذاتها (أي لا يوجد تحسين ملحوظ في كلفة البرنامج).

4.4 اختبار أداء طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس

من المفضل دائما في تطبيقات الطرق التقريبِّية اختبار وتقيم فعَّالية نجاح هذه الطرق المقترحة بمقارنة حلولها مع حلول مثالية معروفة. توجد بعض البرامج المثالية ذات الحلول المعروفة والمحسوبة مسبقاً باستخدام الخوارزميات الدقيقة لتصميم الشبكات الطبوغرافية ذات الأبعاد المتوسطة والصغيرة نسبياً. إن الحلول القريبة من المثالية الناتجة باستخدام طريقة التلدين التجريبي لها النتائج ذاتها كما في الخوارزميات الدقيقة. يهدف هذا الجزء إلى تقييم فعَّالية طريقة التلدين التجريبي المطبقة على شبكات طبوغرافية متنوعة صغيرة وكبيرة وذات أشكال مختلفة. تمَّ تطبيق هذه الطريقة في كافة مراحل تصميم الشبكة كطريقة بحث محلي باستثناء مرحلة تحديد الحل الأولي. تمت مقارنة النتائج الحاصلة من هذه الطريقة بالنتائج المتعلقة ببرامج مثالية معروفة ومحسوبة باستخدام طريقة البائع المتجول (TSP) للشبكات ذاتها (Dare 1995). إن الهدف من ذلك مقارنة أداء الطريقة بالنسبة لجودة الحل. من أجل تقدير جودة البرامج الناتجة بالطرق التقريبِّية، تم تحديد مقدار الانحراف المئوي النسبي (Deviation, RPD (Relative Percentage لقيمة البرنامج الناتج من تطبيق هذه الطرق عن قيمة البرنامج المثالي للشبكة ذاتها. يتم استخدام مقدار الانحراف المئوي النسبي (RPD) ليقرر جودة البرامج الناتجة بالطرق التقريبِّية. يتم حساب مقدار هذا الانحراف بالنسبة للبرنامج المعروف كما يلي:

$$RPD = \left\{ \frac{\text{heuristic schedule - best known schedule}}{\text{best known schedule}} \right\} \times 100$$

- البرنامج الناتج من تطبيق الطريقة التقريبِّية Heuristic Schedule

- البرنامج المعروف والمحسوب بدقة Best Know Schedule

في كلا الحالتين الدراسيتين، البرنامج المثالي والبرنامج الناتج بطريقة التلدين التجريبي لهما قيمة الكلفة ذاتها وبالتالي فإن قيمة الانحراف المئوي النسبي مساوية للصفر(RPD=0) .

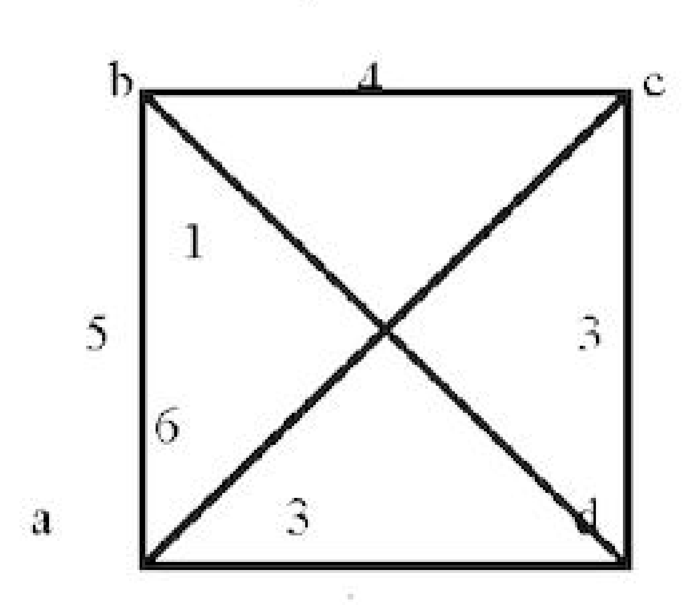
مثالي بقيمة 13 دقيقة. يعرض الشكل 7.4 هذه الشبكة المؤلفة من 6 قياسات (U=6)، 4 نقاط (N=4) وجهازين استقبال (R=2). يمكن مشاهدة مصفوفات الكلفة الأساسية (original) والفعلية (actual cost matrix) في الجدولين 2.4 و4.3. تمَّ اختيار البرنامج الأولي للبدء (V1) عشوائيا بقيمة 17 دقيقة ويتكون من الأشعة التالية Ua-b، Ua-c، Ua-d، Ub-d، Uc-d، Uc-b .

	N_a	N_b	N_c	N_d
N_a	0	5	6	3
N_b	5	0	4	1
N_c	6	4	0	3
N_d	3	1	3	0

الجدول 2.4 مصفوفة الكلفة الأساسية للشبكة في الشكل 7.4 (Dare، 1995)

	U_{a-b}	U_{b-c}	U_{c-d}	U_{d-a}	U_{a-d}	U_{d-c}	U_{c-b}	U_{b-a}	U_{b-d}	U_{d-b}	U_{a-c}	U_{c-a}
U_{a-b}	0	5	6	4	1	4	6	0	5	3	4	6
U_{b-c}	4	0	4	6	4	1	0	6	3	2	4	6
U_{c-d}	6	2	0	3	6	0	1	3	2	3	6	3
U_{d-a}	5	6	3	0	0	6	5	1	3	5	6	2
U_{a-d}	1	5	6	0	0	3	6	5	5	3	2	6
U_{d-c}	3	1	0	6	3	0	2	6	3	2	3	6
U_{c-b}	6	0	1	4	6	4	0	4	2	3	6	4
U_{b-a}	0	6	4	1	4	6	5	0	3	5	6	4
U_{b-d}	4	2	4	3	4	2	4	3	0	0	4	4
U_{d-b}	3	4	2	4	3	4	2	4	0	0	4	4
U_{a-c}	2	5	6	6	3	3	6	6	5	3	0	0
U_{c-a}	6	6	3	3	6	6	5	2	3	5	0	0

الجدول 3.4 مصفوفة الكلفة الفعلية في الشكل 7.4 (Dare, 1995)

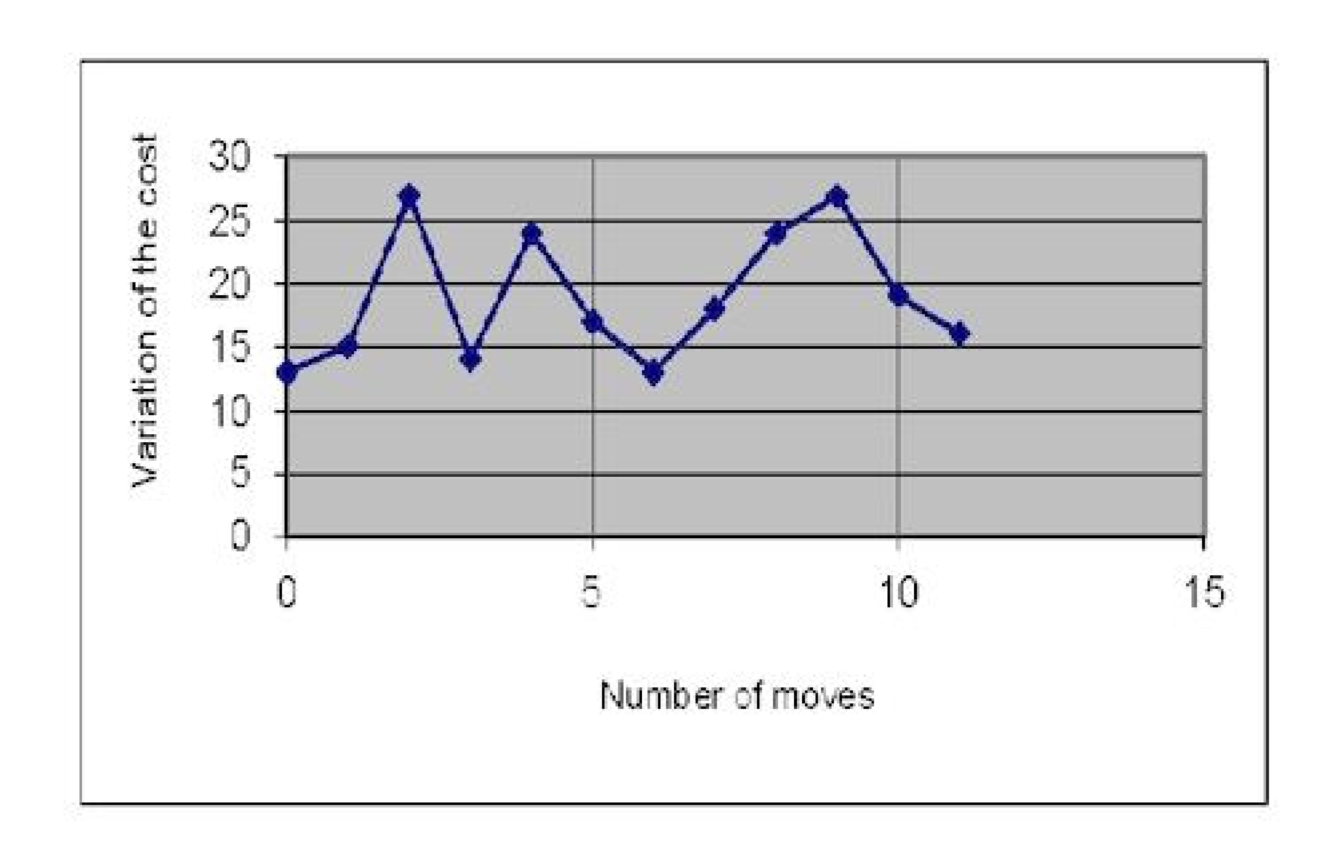


الشكل 7.4. شبكة مساحية بأربع نقاط .(Dare 1995)

يستلزم التطبيق الفعَّال لطريقة التلدين التجريبي لتصميم شبكة الجي بي اس في الشكل 7.4 معرفة بعض «المعلومات الداخلية» المهمة حول هذه الشبكة وذلك لتحديد معامل التلدين الأولية. هذه المعلومات مثلاً، مجال برنامج تنظيم العمل الحقلي لرصد وتصميم الشبكة كالفرق بين أكبر وأصغر تغيير في قيم دالة الهدف (الكلفة) وعدد البرامج الممكنة المتعلقة بحجم مجموعة البرامج

المجاورة للبرنامج الحالي. تمَّ الحصول على هذه المعلومات الداخلية مسبقاً عن طريق إجراء 12 دورة بحث محلية على البرنامج الأولي (الشكل 8.4).

تمَّ تحديد قيم درجة الحرارة الأولية (Ti= 27) والنهائية (Tf=13) بحيث تساويان أكبر وأصغر قيمة لدالة الكلفة واللتين تمَّ إيجادهما باستخدام دورة بحث محلية. إن هذه الطريقة المستخدمة في تحديد قيم درجة الحرارة تعمل بشكل فعَّال فقط بالنسبة للشبكات ذات الأبعاد الصغيرة، ولكن بالنسبة للشبكات ذات الأبعاد الكبيرة تمَّ تطبيق طريقة عملية بنجاح كما هو مبين في الفصل الخامس لشبكة مالطا والفصل السادس لشبكة سيشيلز.



الشكل 8.4. التغيير الطوبولوجي لقيم الكلفة للشبكة في الشكل 7.4.

بعد الحصول على قيم درجة الحرارة الأولية والنهائية (TfوTi)، سيتم توصيف وشرح طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس بالتفصيل في المرحلة المقبلة. في البداية سيتم عرض ملخص النتائج. بتطبيق هذه الطريقة على البرنامج الأولي، يلخص الشكل 9.4 توزيع قيمة المتحول العشوائي (θ Generated Random Number) ومعادلة القبول الاحتمالي (Acceptance Probability Function) لكل عملية تكرارية. تمثل كلفة كل برنامج قيمة الزمن الواجب تخفيضه مع الاحتفاظ بقيمته الحالية ({C (Vcurrent)}) خلال العمليات التكرارية المتتالية.

إن صيغة إيقاف العمل المعتمدة (والتي ليست درجة الحرارة النهائية Tf التي تمَّ تعينيها مسبقاً من قبل المستخدم في بداية عمليات التبريد) تمَّ تحقيقها

عندما كانت قيمة الكلفة متماثلة بالنسبة للبرامج الأخيرة المتتالية، أي لا يوجد أي تحسين في قيمة الكلفة وهذا ما حدث عندما توقفت طريقة التلدين التجريبي عند الحرارة (Tstop = 3.14). بشكل أدق، حالما تصبح درجة الحرارة الحالية مساوية لدرجة الحرارة النهائية (Tk=Tf)، فإن طريقة التلدين التجريبي يجب أن تتوقف عن العمل. علاوة على ذلك، وعند هذه المرحلة، قد تستمر أساليب التحسين مصحوبة بدورات بحث شاملة عن البرنامج النهائي الحالي حتى النقطة التي لم يعد عندها بالإمكان الحصول على أي مزيد من التحسين، وتسمى درجة الحرارة التي يحدث عندها ذلك بدرجة حرارة التوقف (Tstop).

M	Obtained schedule	CC	BFC	Δ	θ	$e^{-\Delta/T}$
1	$(U_{a-b})(U_{a-c})(U_{a-c})(U_{b-d})(U_{c-d})(U_{c-b})$	17	17	0	0.658	1
2	$(U_{a-c})(U_{a-b})(U_{a-c})(U_{b-d})(U_{c-d})(U_{c-b})$	13	13	-4	0.464	2.718
3	$(U_{a-c})(U_{a-c})(U_{a-b})(U_{b-d})(U_{c-d})(U_{c-b})$	14	14	+1	0.746	0.779
4	$(U_{b-d})(U_{a-c})(U_{a-d})(U_{a-b})(U_{c-c})(U_{c-b})$	15	15	+1	0.303	0.779
5	$(U_{c-d})(U_{a-c})(U_{a-c})(U_{b-d})(U_{a-b})(U_{c-b})$	24	15	+7	0.421	0.105
6	$(U_{c-b})(U_{a-c})(U_{a-c})(U_{b-d})(U_{c-d})(U_{a-b})$	24	15	+7	0.190	0.105
7	$(U_{a-b})(U_{a-c})(U_{a-c})(U_{b-d})(U_{c-d})(U_{c-b})$	17	15	-2	0.531	0.606
8	$(U_{a-b})(U_{a-c})(U_{a-c})(U_{b-d})(U_{c-d})(U_{c-b})$	13	13	0	0.024	2.720
9	$(U_{a-b})(U_{b-d})(U_{a-d})(U_{a-c})(U_{c-d})(U_{c-b})$	18	13	5	0.115	0.287
10	$(U_{a-b})(U_{c-d})(U_{a-d})(U_{b-d})(U_{a-c})(U_{c-b})$	27	13	14	0.277	0.105
11	$(U_{a-b})(U_{c-b})(U_{a-d})(U_{b-d})(U_{c-c})(U_{a-c})$	27	13	4	0.553	0.105
12	$(U_{a-b})(U_{a-d})(U_{a-c})(U_{b-d})(U_{c-d})(U_{c-b})$	13	13	0	0.738	3.490
13	$(U_{a-b})(U_{a-c})(U_{a-d})(U_{b-d})(U_{c-d})(U_{c-b})$	17	13	4	0.747	0.368
14	$(U_{a-b})(U_{a-c})(U_{b-c})(U_{a-d})(U_{c-d})(U_{c-b})$	20	13	7	0.695	0.174

الجدول 5.4 مجموعة البرامج الناتجة بتطبيق طريقة التلدين التجريبي عند درجة حرارة التوقف (Tstop=3.14).

إن الرموز المستخدمة في الجدول أعلاه هي كما يلي:

M : عدد الانتقالات.

CC : الكلفة الحالية.

BFC : أفضل كلفة تمَّ الحصول عليها.

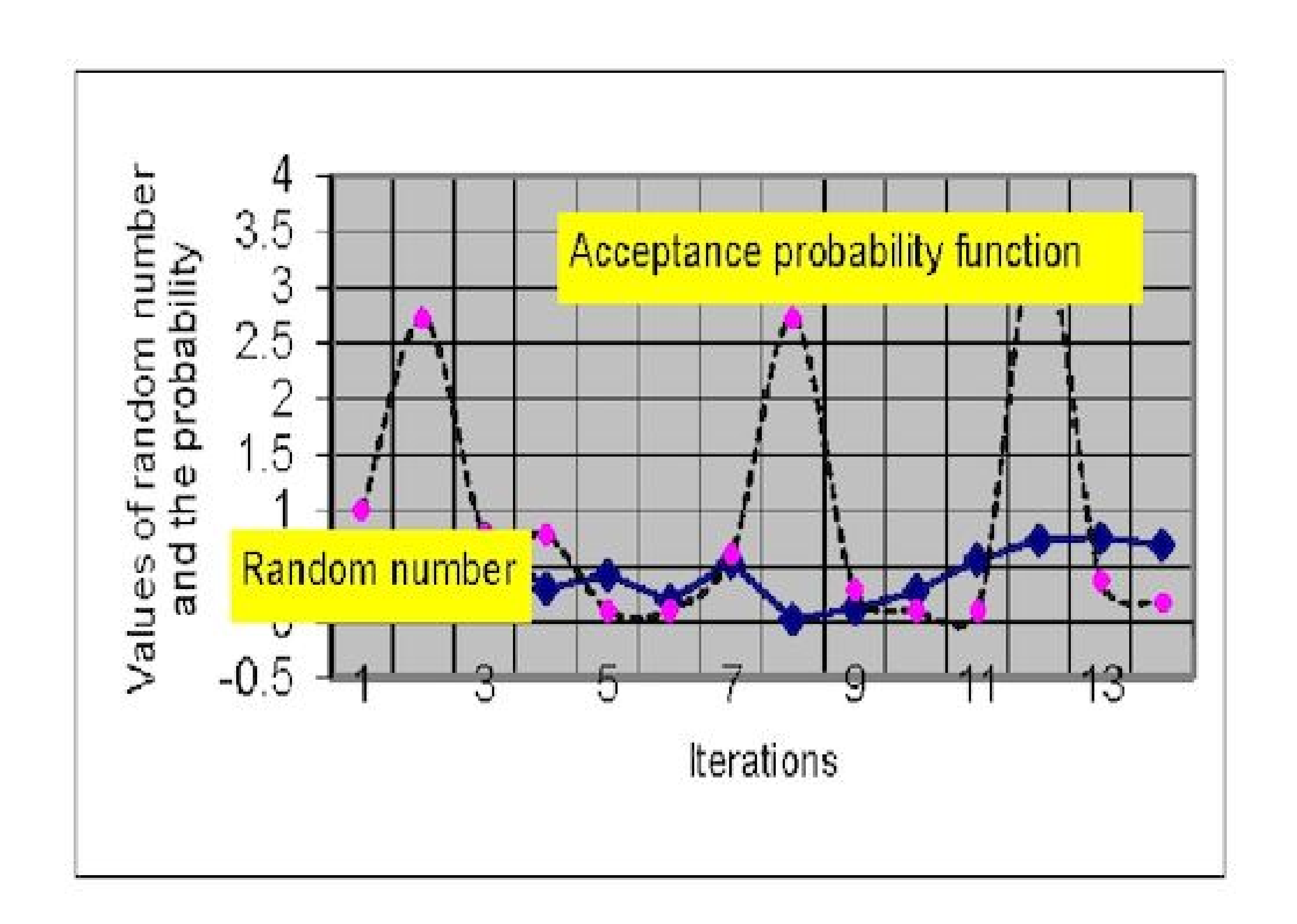
Δ : الفرق في الكلفة.

θ : القيمة العددية للمتحول العشوائي.

$e-\Delta/T$: معادلة القبول الاحتمالي.

Tstop : قيمة درجة الحرارة التي يتوقف عمل طريقة التلدين التجريبي ويتم تحديدها بعمليات التبريد.

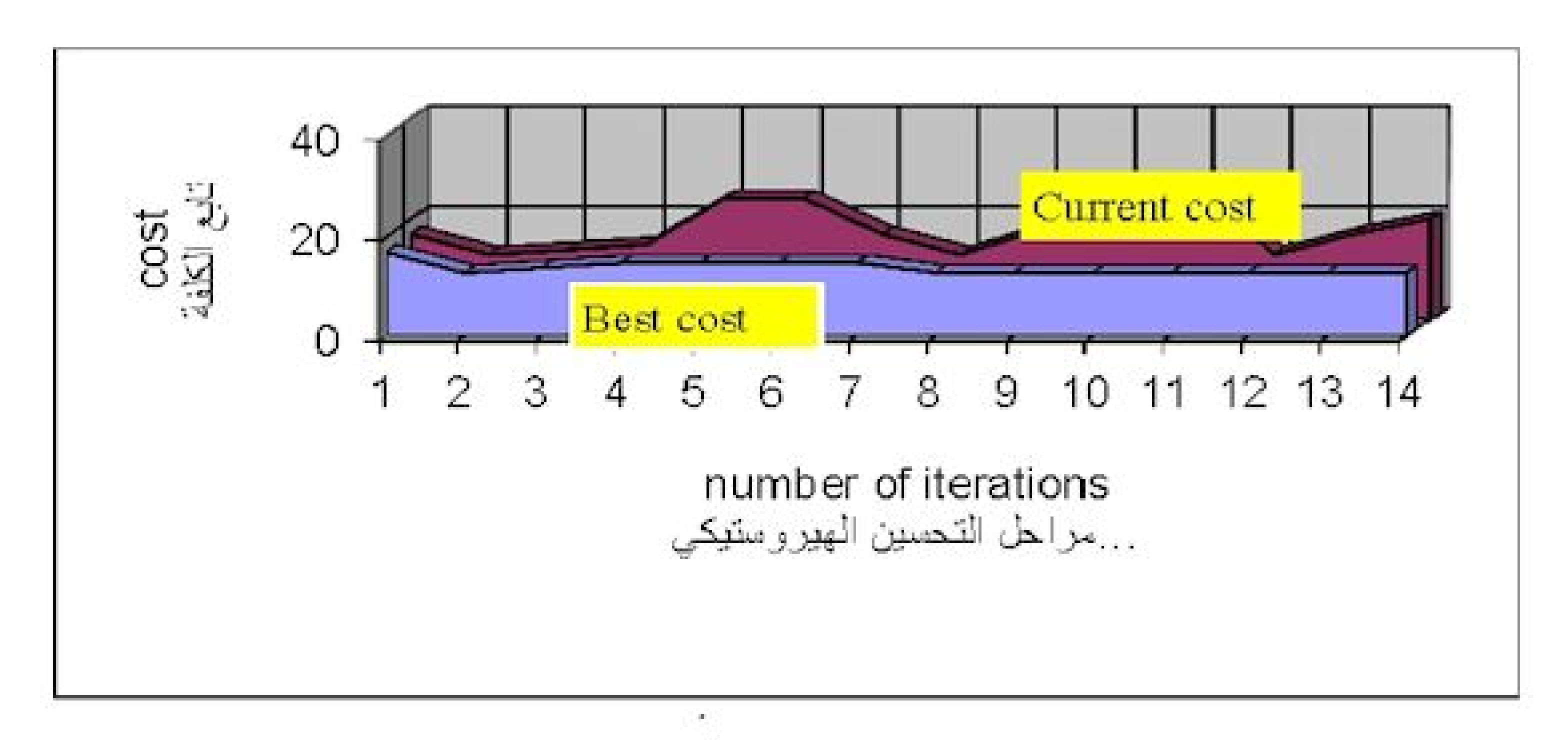
Tf : درجة الحرارة توقف التي يتوقف عمل طريقة التلدين التجريبي عندها ويتم تحديدها من قبل المستخدم.



الشكل 9.4 توزع القيمة العددية للمتحول العشوائي ومعادلة القبول الاحتمالي بالنسبة لكل عملية تكرارية.

يلخص الشكل 10.4 الرسم التخطيطي للتحول السريع لطريقة التلدين التجريبي بالنسبة لهذه الشبكة نحو أفضل قيمة. أيضاً يوضح الشكل ذاته جودة البرنامج الحالي والبرنامج الناتج تقريبياً منسوباً إلى عدد العمليات التكرارية لطريقة التلدين التجريبي التي مرت بثلاث مثاليات محلية (Local Optima) عند العمليات التكرارية 2 و8 و12. توقفت أساليب التحسين ودورات البحث للطريقة عندما تحقق شرط الإيقاف وهذا واضح جلياً في الأشكال 10.4 و11.4. يبين الشكل 11.4 التمثيل التخطيطي للأداء الناجح لطريقة التلدين التجريبي.

في هذا الشكل تمثل V1 البرنامج الأولي، وV2 البرنامج ذات المثالية المحلية، وVcheapest البرنامج ذات المثالية العظمى أي الأقل كلفة، بينما تمثل Q(V) الفضاء البحثي، وI(V) مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج الأولي.



الشكل 10.4. الشكل التخطيطي لبرنامج العمل الحالي وأفضل برنامج عمل ناتج عن تطبيق طريقة التلدين التجريبي لتصميم الشبكة في الشكل 7.4.

سيتم حالياً شرح كل عملية تكرارية بالتفصيل. وفي هذا المثال تمَّ تطبيق الإنشاء البحثي لمجموعة البرامج المجاورة المتتالية (Sequential Neighbourhood Search Structure) لإنتاج البرامج المجاورة للبرنامج الحالي، كما تمَّ شرحه في الجزء 8.3، وأعطى نتائج جيدة كما سُيعرض في العمليات التكرارية التالية. تُمثِّل الأرقام الموجودة في الاقواس [ ] في البرنامج الأولي كلفة الانتقال من رصد شعاع لآخر ويمكن الحصول عليها من مصفوفة الكلفة الفعلية في الجدول 3.4. تُمثِّل العمليات التكرارية التالية عمليات التبريد المستخدمة من قبل طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس لإيجاد أفضل برنامج ممكن.

العملية التكرارية الأولى (البرنامج الأولي للبدء)

إن قيمة البرنامج الأولي للبدء V1 تساوي 17 دقيقة. في البداية يتم وضع عداد التكرار (Iterations counter) للعمليات التكرارية على قيمة الصفر مما يدل على عدم حصول أي انتقالات منذ بدء عمليات التحسين.

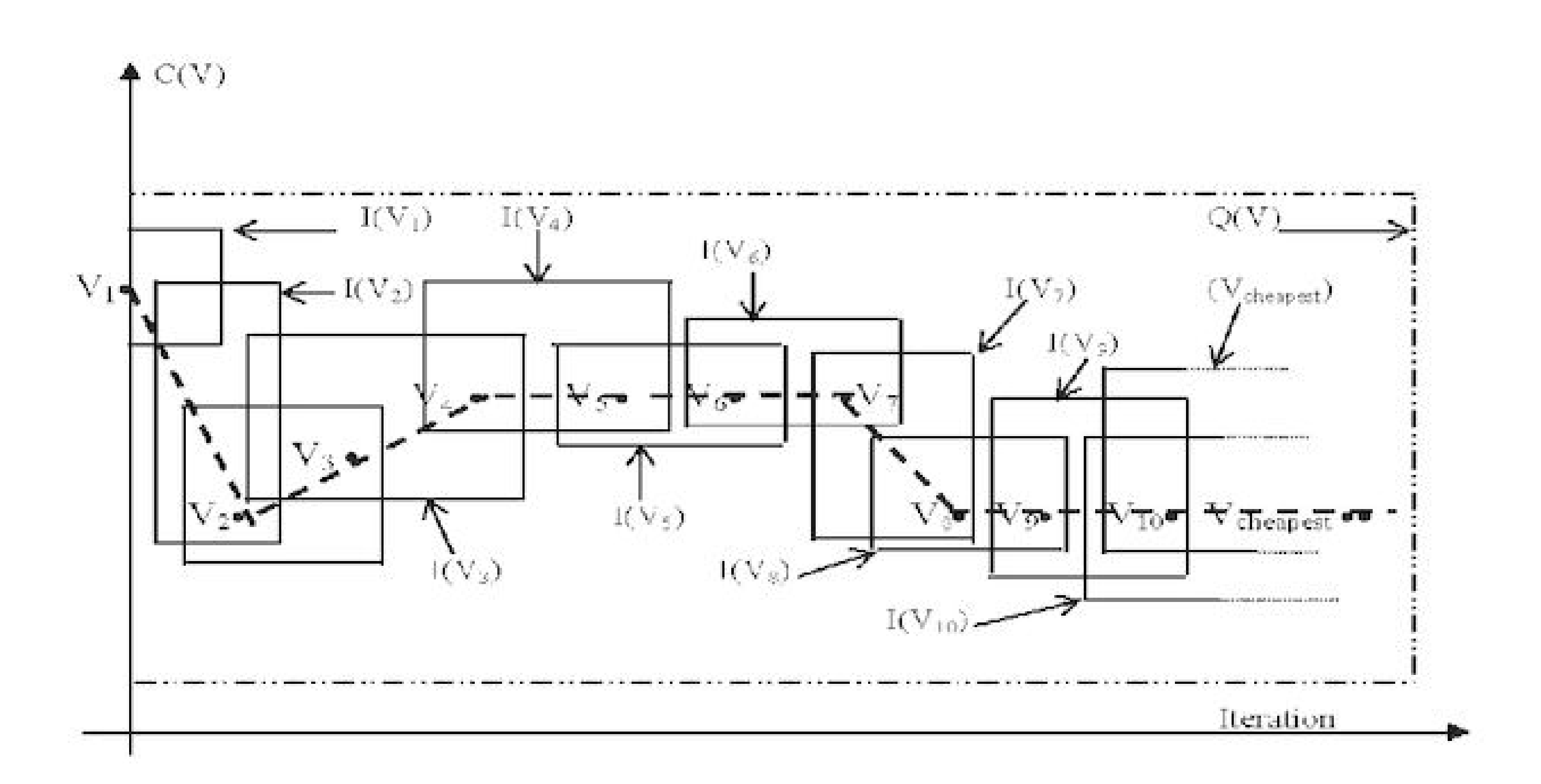
V1=(Ua-b)-[4]-->(Ua-c)-[3]-->(Ua-d)-[5]-->(Ub-d)-[4]-->(Uc-d)-[1]-->(Uc-b) = {17}

في العملية التكرارية الأولى (**Iteration 1**)، تكون قيم كلفة البرنامج الحالي والبرنامج الناتج عن الطريقة التقريبيّة متساوية. إن أفضل قيمة تمَّ الحصول عليها تعني الكلفة التي تمَّ قبولها بطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس، وتأخذ الرمز(Vbest) C خلال العمليات التكرارية التالية وذلك ليتم تمييزها من الكلفة الحالية التي تُعطى الرمز {C(Vcurrent)}.

العملية التكرارية الثانية

تبدأ طريقة التلدين التجريبي بتشكيل البرنامج المجاور الأول V2 من بين مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج $V1$ $(V2 \in I(V1))$ ذات الكلفة 13 دقيقة وذلك بتطبيق الإنشاء البحثي لمجموعة البرامج المجاورة المتتالية الذي تمَّ شرحه في الجزء 8.3. تمَّ الحصول على هذا البرنامج بإجراء عملية تبادل بين أول شعاعين Ua-c وUa-b وإن الترتيب الجديد لهذه الأشعة مع الكلفة الناتجة كما يلي:

V2=(Ua-c)-[2]-->(Ua-b)-[1]-->(Ua-d)-[5]-->(Ub-d)-[4]-->(Uc-d)-[1]-->(Uc-b) = {13}



الشكل 11.4. منحى تطور عمليات البحث المحلي والعمليات الحسابية لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس.

في هذه العملية التكرارية الثانية (Iteration 2)،إن قيمة الحل التقريبي الناتج 13 دقيقة وهي قيمة البرنامج الحالي V2. وإن قيمة التغير في تابع الكلفة $(\Delta = C(V2)-C(V1)=13-17=-4)$ أصغر من الصفر $(\Delta < 0)$ وبالتالي فإن

طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس تقبل هذا الانتقال ذات الاتجاه نزولاً (down hill) أوتوماتيكياً (0 < Δ) وتُحسن البرنامج المجاور الناتج (V2) إلى البرنامج الحالي الجديد (V3) وفقاً للخطوة 6 في الشكل 5.4.

العملية التكرارية الثالثة

تتابع طريقة التلدين التجريبي عملها وتقوم بتشكيل البرنامج المجاور V3 من مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج (V2) أي بتحقيق ((V3∈I(V2)) وذلك بتبادل الشعاعين Ua-d وUa-b وفقاً للإنشاء البحثي لمجموعة البرامج المجاورة المتتالية وإعطاء الكلفة 14 دقيقة. وإعطاء الترتيب الناتج لهذا البرنامج كما يلي:

V3=(Ua-d)-[2]-->(Ua-c)-[2]-->(Ua-b)-[5]-->(Ub-d)-[4]-->(Uc-d)-[1]--> (Uc-b) = {14}

في العملية التكرارية الثالثة (Iteration 3)، تقبل طريقة التلدين التجريبي الانتقال ذات الاتجاه صعوداً (Uphill Move) من البرنامج V2، والذي يمثل المثالية المحلية (Local Optimum)، إلى البرنامج V3 بكلفة مقدارها (V3)=14)C). إن هذا الانتقال ينتج ازدياداً في تابع الكلفة مقداره (Δ=C(V3) -C(V2 =14-13=+1) أكبر من الصفر (Δ 0<) وبالتالي فإن طريقة التلدين التجريبي لا توقف دورات البحث بل تتابع عملها وفقاً لمبدأ القبول الاحتمالي (e-Δ/T>θ) وتقبل البرنامج V3 بنسبة احتمالية وفقاً للمعادلة (e-Δ/T=0.779). إن قيمة المتحول العشوائي (θ=0.746) أصغر من قيمة (e−Δ /T) أي e-Δ/T (θ< وهذا يحقق مبدأ التحسين في طريقة التلدين التجريبي.

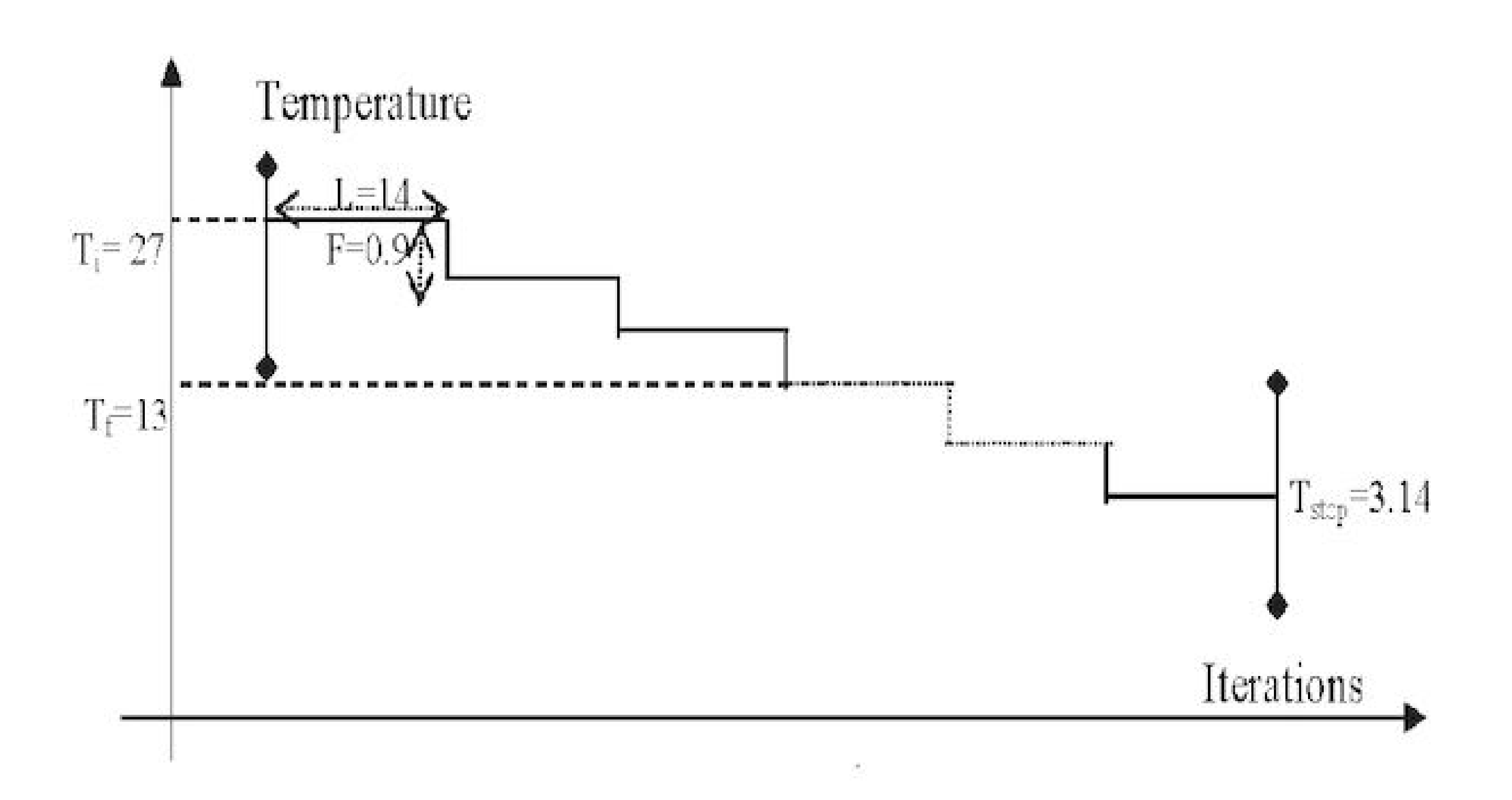
المرحلة التكرارية الرابعة عشرة

تمَّ الحصول على البرنامج المجاور التالي V14 من مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج V13 بتحقيق V14 ∈ I(V13) وتبادل الشعاعين Ua-d و Ub-d وإعطاء الكلفة 20 دقيقة. وإن الترتيب الناتج مع الكلفة كما يلي:

V14=(Ua-b)-[4]-->(Ua-c)-[5]-->(Ub-d)-[4]-->(Ua-d)-[6]-->(Uc-d)-[1]-->(Uc-b)={20}

إن قيمة التغير في تابع الكلفة (Δ=C(V14)-C(V13) =20-13=+7) أكبر من الصفر (Δ>0) وبالتالي ترفض طريقة التلدين التجريبي هذا الانتقال ذات الاتجاه صعوداً وتحتفظ بأفضل برنامج تمَّ الحصول عليه V8. عند هذه المرحلة

التكرارية الرابعة عشرة (**Iteration 14**)، إن البرنامج الذي تمَّ الحصول عليه تقريبياً احتفظ بأفضل قيمة وهي 13 دقيقة لسبع عمليات تكرارية متتالية (الشرط المحدد لإيقاف عمل الطريقة) عند درجة حرارة التوقف (Tstop=3.14)، بينما ارتفعت قيمة البرنامج الحاليV14 إلى 20 دقيقة. إن القيمة المنخفضة لدرجة الحرارة (Tstop=3.14) تؤكد بأنه تمَّ المرور على كافة المثاليات المحلية (Local Optima)، ولكن تمَّ تجاوزها.



الشكل 12.4 عناصر التبريد وفقاً لمخطط التبريد الهندسي للشبكة في الشكل 4.7.

بتحقيق شرط إيقاف العمل، تتوقف العمليات التكرارية. تمَّ الحصول على البرنامج القريب من المثالي بكلفة قيمتها 13 دقيقة وهي ذات القيمة لبرنامج مثالي معروف ومحسوب مسبقاً، وقد تمَّ إنتاجه بثمان عمليات تكرارية وبزمن حسابي لا يتعدى بعض الثواني تقريباً. إن معامل التلدين الأساسية هي: درجة حرارة الإيقاف (Tstop=3.14)، طول سلسلة ماركوف (L=14)، وعامل التعديل (F=0.9) كما هو مبين في الشكل 4.12.

5.4 الاستنتاج

تمَّ في هذا الفصل تطوير طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس التي تمَّ تعديلها وتحليل مركباتها وحققت نتائج جيدة. تسمح هذه الطريقة والتي هي امتداد لطريقة البحث المحلي المتقارب أحياناً بقبول الانتقالات ذات الاتجاه صعوداً (Uphill Moves). بشكل محدد، تنتج هذه الطريقة في كل عملية

تكرارية مجموعة من البرامج المجاورة للحل الآني المعتمد. إذا كانت قيمة البرنامج المجاور أفضل من البرنامج السابق فإن طريقة التلدين التجريبي تنتقل إليه، عدا عن ذلك فتنتقل إلى برنامج مجاور آخر بنسبة احتمالية وفقاً لمعادلة القبول الاحتمالي ($P= e^{-\Delta/T}$) التي تعتمد على التغير الناتج في قيمة تابع الكلفة Δ وعامل التحكم T القابل للتعديل. خلال مراحل عمليات التبريد، يتم تعديل درجة الحرارة ابتداء من قيمة عالية (والتي تنتج قيمة احتمالية عالية (P) لانتقال ذات الاتجاه صعوداً (Uphill Move)) وتتجه نحو الصفر مع ازدياد عدد العمليات التكرارية. في الفصلين 6 و7، سيتم دراسة واختبار تأثير التغيير في المعامل الأخرى باستخدام شبكات فعلية وكبيرة. تمَّ مراجعة البرامج المثالية المعروفة الناتجة باستخدام الطريقة الدقيقة وعرض طريقة التلدين التجريبي المطبَّقة على الشبكات المساحية للجي بي اس. تمَّ شرح وتفصيل أفضل تصميم لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس. إن التحقق من تأثير معامل التبريد على أداء طريقة التلدين التجريبي موضح في الفصول 6 و7 حيث إنه باستخدام شبكات كبيرة يمكن إجراء التحليل الشامل والمفيد لهذه المعاملات. وسيتم في الفصل التالي توصيف وشرح طريقة البحث المحظور وتطبيقها على نفس البيانات المستخدمة في هذا الفصل.

الفصل الخامس

خوارزمية طريقة البحث المحظور لتصميم شبكة الجي بي اس

1.5 مقدمة

سيتم في هذا الفصل تقديم طريقة البحث المحظور المعدلة لحل مسألة إيجاد برنامج تنظيم العمل الحقلي الأقل كلفة لرصد وتصميم شبكة الجي بي اس المساحية. ثم عرض أداء هذه الطريقة على مسائل التحسين التجميعي الأخرى المهمة في الحياة العملية، وإعطاء الشرح المفصل للمفاهيم الأساسية لتطبيق العناصر الإنشائية وعناصر التحكم لطريقة البحث المحظور. وأخيراً إجراء الاختبارات العددية على مجموعة من الشبكات صغيرة نسبياً ذات الحلول المثالية المعروفة.

2.5 أداء طريقة البحث المحظور وتطبيقاتها العملية

تتميز طريقة البحث المحظور (**TS ،Tabu Search**) بفعَّاليتها في الحصول على حلول قريبة من المثالية لمسائل التحسين التجميعي أو التوافقي الصعبة. وجدت هذه الطريقة من قبل الباحث غليفر (Glover 1989, 1990) وبمساهمة أفكار ومفاهيم من بعض المصادر (Taillard, 1991)، (De Werra and Hertz, 1989). تتشارك هذه الطريقة مع الطرق التقريبِّية الأخرى كطريقة التلدين التجريبي القدرة على توجيه أساليب البحث لطرق التحسين المتكرر

كطريقة البحث المحلي المتقارب. تسعى طريقة البحث المحظور لتحسين دالة الكلفة تحت تأثير بعض القيود باستخدام أفكار الذكاء الاصطناعي لتوجيه طريقة البحث المحلي المتقارب بتجاوز المثالية المحلية.

تبدأ طريقة البحث المحظور للجي بي اس، والتي هي عبارة عن إجراء اختبار وإنتاج متكرر، دورات التحسين باستخدام برنامج ممكن (V) من مجموعة البرامج المجاورة (V∈ I(V)). في كل عملية تكرارية، تقوم هذه الطريقة باستبدال البرنامج (V) ببرنامج أفضل وجديد (V') من هذه المجموعة (V'∈I(V)) بحيث لم يتم استخدامه في العملية التكرارية السابقة. يُمكن أن تكون دالة الكلفة للبرنامج الجديد (V') أصغر أو مساوية أو أكبر من دالة الكلفة للبرنامج الحالي (V). من الناحية العملية فإنه من غير المستطاع تخزين كافة المعلومات الخاصة بالبرامج التي تمَّ استخدامها مسبقاً. لذلك، يتم استخدام بعض الخصائص أو السمات (Attributes) التي تساعد على تمييز البرنامج المستخدم، (مثلاً معلومات جزئية عن بنية هذا البرنامج). يتم تخزين هذه السمات في لائحة ذات طول محدد (Finite Length List) وعندها يقال إن البرنامج (V') محظور استخدامه، أي لا يمكن اعتباره أفضل مرشح ممكن استخدامه في العملية التكرارية التالية، إذا كانت سماته في لائحة الحظر. تتوقف دورات البحث بانتهاء الوقت المعطى للطريقة. إن خطوات تنفيذ طريقة البحث المحظور موضحة في الشكل 1.5. إن المستوى المثالي لبدء عمل طريقة البحث المحظور للجي بي اس يكون بالاستخدام الناجع لمعلومات منظومة «الذاكرة» (Memory) في أثناء دورات البحث عن أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة الجي بي اس. تعتمد هذه الطريقة، كما هو الحال في كل تطبيقات البحث المحظور، على لائحة حظر تتكون من بنيتين لذاكرة قصيرة وطويلة الأمد. تُستخدم بنية الذاكرة القصيرة الأمد (Short Term memory) لاختصار الجهد الحسابي وبشكل مكثف تبحث في منطقة من المجال البحثي للبرنامج الحالي لإيجاد أفضل برنامج ممكن: هذا يُعرف باستراتيجية البحث المكثف شاقولياً (Intensification Strategy). أما بنية الذاكرة الطويلة الأمد (Long Term Memory) فُتستخدم لتجاوز المثالية المحلية (Local Optima) وإعادة توجيه دورات البحث إلى مناطق أخرى: هذا يُعرف باستراتيجية البحث المكثف أفقياً (Diversification Strategy).

- انتقاء برنامج أولي (V) للشبكة، مع البدء بتعيين عناصر التحكم لطريقة البحث المحظور.
- اختيار أفضل برنامج (V’) من مجموعة البرامج المجاورة ($V’ \in I(V)$).
- تحسين البرنامج الحالي بالجديد (V’ = V) وتحديث عناصر التحكم.
- تكرار الخطوة 2 والخطوة 3 حتى يتم تحقيق شرط الإيقاف.

الشكل 1.5 المفهوم العام لطريقة البحث المحظور.

أداء البحث المحظور على مسائل التحسين التوافقي

يُلاحظ نجاح تطبيق طريقة البحث المحظور على عدد كبير من التطبيقات العملية لمسائل التحسين التوافقي بالحصول على حلول محسَّنة لمسائل جدولة وتنظيم العمليات (Scheduling) والتسلسل (Sequencing) بأحجام مختلفة كمسألة جدولة تدفق المتاجر (Flow Shop Scheduling) (Widmer and Hertz, 1989)، (Nawaz et al. 1983)، (Taillard, 1990) و(Osman and Christoffides, 1994)، أو جدولة مهمات الآلة (Scheduling Machine) (Laguna, 1997) و(Hertz and De Werra, 1990). تحديد مواقع الموارد وتخصيصها (Resource Location and Allocation) كما في مسألة التعيين التربيعية (Quadratic Assignment Problem QAP) (Skorin-Kapov, 1990) والتي تمَّ تطويريها بشكل موسع (Taillard, 1994)). تمَّ تطبيق هذه الطريقة على مسألة البائع المتجول (TSP) (Croes, 1958) (Malek et. al., 1989)، وبحجم أكبر (Fiechter, 1990) حيث تم تطوير طريقة البحث المحظور لتعمل على التوازي (Parallel) باستخدام استراتيجية متوسطة وبعيدة المدى.

في نظرية المخططات (Graph Theory)، أظهرت طريقة البحث المحظور نتائج جيدة كما هو في مسألة تلوين المخطط (Graph Colouring Problem) (Laguna et al, 1997). في التطبيقات التجميعية الأخرى، لعبت طريقة البحث المحظور دوراً مهماً كما في قطاع التكنولوجيا (كتصميم الإنشاءات الهندسية) (Engineering Structural Design)، وتوزيع المحطات الكهربائية (Electrical Power Distribution)، وعمليات التنقيب البحرية عن البترول في

المناطق البعيدة عن الشواطىء (Off-Shore Oil Exploration)، الاتصالات (Telecommunications) كتحديد موقع محور المنشأة (Hub Facility Location)، تصميم شبكة الخدمات (Services for Design Network)، واستدعاء المسارات (Routing Call).

3.5 استراتيجية طريقة البحث المحظور في تصميم شبكة الجي بي اس

إن تطبيق طريقة البحث المحظور، والتي تتبع لنوعية المسألة المراد معالجتها، يستلزم تحديد المركبات الخاصة الأساسية: العناصر الإنشائية ومعامل التحكم (Glover and Laguna, 1997). وإن أداء النتائج الحاصلة يعتمد بشكل كبير على الاختيار الصحيح لكلٍ من العناصر الإنشائية ومعامل التحكم.

تتضمن العناصر الإنشائية: البرنامج الأولي، مجموعة البرامج المجاورة، واستراتيجية البحث الخاصة، واستراتيجية اختيار أفضل انتقال، الذاكرة المبنية على تخزين السمات، صيغة استثناء وقبول الانتقالات المحظورة. تتألف معامل التحكم من لائحة الحظر، القائمة المرشحة، مدة الحظر، وعدد العمليات التكرارية. في هذه الدراسة، تمَّ اقتراح طريقة البحث المحظور لتصميم شبكة الجي بي اس. سيتم تعريف العناصر الإنشائية ومعامل التحكم الخاصة بها في الأجزاء التالية، بينما سيتم مناقشة نتائج الاختبارات الحسابية في الجزء 5.5.

العناصر البنيوية

تحدد العناصر البنيوية (**structural elements**) الأسلوب الذي يتم فيه نمذجة شبكة الجي بي اس بحيث تتوافق مع إطار عمل طريقة البحث المحظور. وتتضمن هذه العناصر ما يلي:

الحل الأولي

إن الحل الأولي (**Initial Solution**) (V) لتنظيم العمل الحقلي لرصد وتصميم شبكة الجي بي اس يمكن إنتاجه بأي إجراء اختياري أو حسابي أو بالحدس.

بنية مجموعة البرامج المجاورة

إن قوة أي طريقة مبنية على مبدأ التحسين بالتكرار (Iterative Technique)

يتم تحديدها بشكل جزئي تبعاً لفعَّالية الآلية المتبعة لإنتاج (Generation Mechanism) مجموعة البرامج المجاورة **(Neighbourhood structure I(V))**، وبالأسلوب المتبع بالبحث عن أفضل برنامج. في هذا الكتاب، يتم إنشاء مجموعة البرامج المجاورة I(V) بإجراء التبادل الداخلي (Interchanges) بين مواقع الأشعة المتجاورة في البرنامج المعتمد. إن حجم مجموعة البرامج المجاورة يعتمد على عدد الأشعة والذي يمكن إن يكون كبيراً نسبياً. إذا كان حجم مجموعة البرامج المجاورة كبيراً جداً، فإن أفضل وسيلة مرغوبة لفحص هذه المجموعة يكون أوتوماتيكياً. وهذا تمَّ إنجازه باستخدام استراتيجية البحث الديناميكية "التذبذب الاستراتيجي" (Strategic Oscillation).

لضمان تحقيق عملية البحث الموسَّع وتسريع الزمن الحسابي، تمَّ اعتماد استراتيجية بحث مبنية على ثلاثة عناصر رئيسية والتي يجب أخذها بالحسبان حتى يتم تحقيق متطلبات الجي بي اس والطرق التقريبيِّة. **أولاً**، برنامج تنظيم العمل الحقلي لحركات جهاز الاستقبال. **ثانياً**، مجموعة من أفضل الانتقالات الممكنة والتي تعتمد على نوعية المسألة ويمكن الحصول عليها من خلال أساليب التحسين المطبَّقة على الشبكة (CL القائمة المرشحة). ثالثاً، الأبعاد المناسبة للائحة الحظر والتي يمكن أن تكون ديناميكية و/ أو بأبعاد ثابتة. هذه اللائحة والتي هي بأبعاد ثابتة في هذه الدراسة بسبب الطبيعة الستاتيكية لشبكة الجي بي اس، تحتوي على الانتقالات المحظورة وتستخدم لتحديد فيما إذا كان الانتقال (مسموح الاستخدام).

استراتيجية اختيار أفضل انتقال

في هذه الدراسة، تمَّ تعديل واستخدام استراتيجية اختيار أفضل انتقال **(The best move selection strategy)** في تطبيقات شبكة الجي بي اس المقترحة في المرجع ((Glover, et, al., 1993)). تختار هذه الاستراتيجية المقترحة الانتقال الذي ينتج التحسين الأعظمي (Greatest Improvement) أو تنقصه أصغر قيمة تحسين في دالة الكلفة (Improvement of Lack Smallest) شريطة أن تكون صيغة استثناء وقبول الانتقالات المحظورة محققة. تفترض استراتيجية اختيار أفضل انتقال بأن الانتقالات ذات القيمة العالية (High Potential Value) تمتلك الاحتمال الأعلى للوصول إلى البرنامج القريب من المثالي، أو الحصول

على البرنامج الجيد. إن مفهوم الذاكرة المعمول به عموماً في البحث المحظور والذي تمَّ استخدامه في هذه الدراسة هو الذاكرة المبنية على تخزين السمات. إن هذه السمة تحدد المستوى الذي يتغير فيه البرنامج كنتيجة لحدوث انتقال ما في مجموعة البرامج المجاورة.

الذاكرة المبنية على تخزين السمات

في طريقة البحث المحظور للجي بي اس إن سمة الانتقال من برنامج (V) إلى برنامج آخر (V') تمثل أي مستوى من التغيرات الحاصلة نتيجة هذا الانتقال. في هذه الدراسة، أكثر من نموذج لسمة الانتقال يمكن أن يُعمل به: سمات عامة (General Attributes) زيادة أو نقصان في قيمة دالة الكلفة، وسمات محددة (Specific Attributes) كالمبادلة بين عنصرين في البرنامج (V) (المبادلة بين الشعاعين (V(U)) و(V(U'))). بشكل عام، إن هذا الانتقال الوحيد من الشعاع (U) إلى الشعاع (U') في البرنامج (V) يمتلك على العديد من السمات التي يمكن تمثيلها بمجموعة من السمات من أو إلى (From or to Attributes). إن سمة الانتقال (move attribute) يمكن وصفها بأنها ترتيب ثنائي (Ordered Pair) مكوَّن من المجموعة (من-السمة) (From-Attribute)، (إلى السمة) (To-Attribute) حيث إن المجموعة (من-السمة) مرتبطة بالبرنامج (V) في حين إن المجموعة (إلى-السمة) مرتبطة بالبرنامج (V'). كما هو مبين أعلاه، إن انتقال ما يتم تمثيله بشكل فعَّال وفقاً لسماته، التي تمَّ تنفيذها للتو، بتسجيل هذه السمات مقابل هذا الانتقال والتي يمكن تصنيفها بالمحظورة. أي انتقال يحتوي على هذه السمات المحظورة سوف لن يكون متاحاً في عملية الاختيار التالية كمرشح لمجموعة الجداول المجاورة (ما لم يتم أولاً تحقيق صيغة لقبول الانتقالات المحظورة).

إن قيود الحظر الأكثر شيوعاً تمَّ تصميمها بحيث تمنع حدوث عملية دوران البحث غير المجدي. وإن سمات قيود الحظر يمكن تصنيفها بأنها ذات حظر فعَّال (Active-Tabu) إذا حدثت لاعتبارات الذاكرة ذات المدى القصير (الحداثة) (Recency) أو لاعتبارات الذاكرة ذات المدى الطويل (التردد) (Frequency). على سبيل المثال، باعتبار شبكة الجي بي اس المبيَّنة في الشكل7.4 ذات برنامج مكوَّن من تبادلات اختيارية أو عشوائية (Random Permutation) لستة أشعة. إذا كان الانتقال

السابق مؤلفاً من مبادلة الشعاع (Uab) مع الشعاع (Uac)، فإن القيم المستخدمة في هذا الإجراء التبادلي يمكن استخدامها كسمة لانتقال ممكن (Potential Move Attribute) ويمكن تصنيفها كسمة ذات حظر فعَّال في الذاكرة ذات المدى القصير. وهذا يعني أنه في العملية التكرارية التالية لطريقة البحث المحظور للجي بي اس لن يسمح لهذين الشعاعين بالتبادل طالما أن السمات المرتبطة بهذا الانتقال على لائحة الحظر. على كل حال، إن حالة الحظر لسمة الانتقال (Attribute Move) يمكن تجاوزها في بعض الحالات. إذا تمَّ تحقيق صيغة القبول الاستثنائي فإنه يمكن معاملة هذا الانتقال كما لو أنه لم يكن محظوراً. وهذه العملية هي التي تسمى بعملية الذاكرة المبنية على تخزين السمات (**Attribute based memory**).

صيغة القبول الاستثنائي (مبدأ العفو أو تخفيف عقوبة الحظر)

في بعض الحالات المعينة للبحث المحظور، يمكن تجاوز قيود الحظر الفعَّالة إذا كان بالإمكان تحقيق صيغ القبول الاستثنائي (**Aspiration criteria**). هذه الصيغ عبارة عن التدابير التي تمَّ تصميمها بهدف تجاوز حالة الحظر لانتقال ما إذا كان هذا الانتقال جيداً وفعَّالاً في منع حدوث عملية دوران البحث غير المجدي. في هذه الطريقة المطوَّرة، تمَّ اعتماد تطبيق معياري لمستويات القبول الاستثنائي (Aspiration Criteria levels) التي تسمح بتجاوز قيود الحظر في حال انتج الانتقال الممكن (Potential Move) برنامج أفضل من البرنامج المثالي الذي تمَّ الحصول عليه حتى الآن.

هناك مجموعة متنوعة من الصيغ الأخرى، غير التي تمَّ استخدامها، يمكن تطبيقها في الخوارزمية المطوَّرة. وتمَّ تطبيق صيغة القبول الاستثنائي باستخدام التطلع بشكل افتراضي (Default by Aspiration) في الحالة التي تصنف فيها كل مجموعات البرامج المجاورة بأنها محظورة، وعندها تُجبر طريقة البحث المحظور للجي بي اس على اختيار الانتقال الذي ينتهك قيود الحظر. يوجد نوع آخر من مستوى القبول الاستثنائي يسمى صيغة القبول الاستثنائي باستخدام المنطقة (Region by Aspiration) والذي يتم استخدامه لنقض قيود الحظر عندما ينتج الانتقال الممكن برنامج أفضل من ذلك الذي تمَّ إيجاده سابقاً في منطقة معينة. لمزيد من التفاصيل حول مستويات القبول الاستثنائي الأخرى، انظر: (Glover and Laguna, 1997).

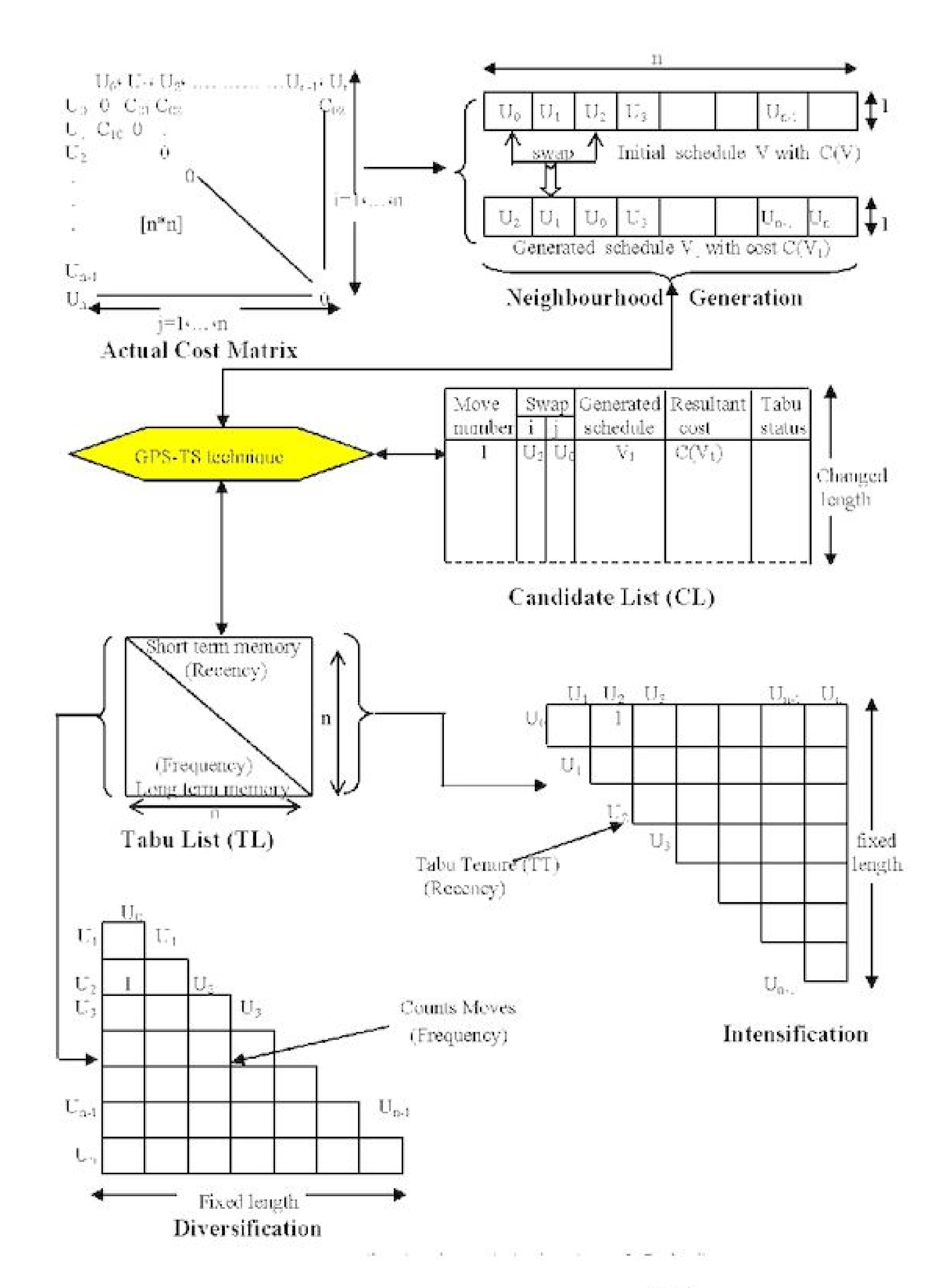
معامل الحظر

هي مجموعة العناصر التي تحكم عمل طريقة البحث المحظور ذاتها، وهي مبنية بشكل رئيسي على حجم الشبكة. إن الاختيار الصحيح لمعامل الحظر **(Tabu parameters)** هو نوعُ من التجربة والخطأ والتي يمكن تلخيصها كما يلي:

لائحة الحظر

إن لائحة الحظر **(Tabu List TL)** عبارة عن بنية الذاكرة التي تمنع الانتقالات التي تمَّ تبادلها حديثاً. يُعرف دوران البحث غير المجدي بالنسبة لطريقة البحث المحظور للجي بي اس كما يلي: إن الانتقال الذي تمَّ استخدمه للتو محظور ويتم إدراجه في بنية مصفوفيه ثابتة وقابلة للتحديث (Static Updated Matrix Structure) كما هو مبين في الشكل 2.5. لكي يتم تجنب عملية دوران البحث غير المجدي بشكل فعَّال، فإن حجم لائحة الحظر تابع لعدد الأشعة المرصودة. إن هذا الحجم مناسب جداً للطبيعة الستاتيكية (الثابتة) لشبكة الجي بي اس.

إن أداء طريقة البحث المحظور يتأثر بشكل كبير بالأسلوب الذي يتم فيه استخدام الذاكرة وهذا التأثير ينسحب على كلٍ من إنتاج البرنامج وشكل مجموعة تحديد البرامج المجاورة. بشكل عام، إن تأثير الذاكرة (طويلة وقصيرة الأمد) يتغير مع تقدم سير عمل طريقة البحث المحظور. في بداية العمل، كما هو الحال في معظم الطرق التقريبيِّة، يتم تطبيق استكشاف واسع (Wide Explore) لدورات البحث لتحديد المناطق الجيدة وغير الجيدة: هذا يسمى في البحث المحظور بالبحث المكثف شاقولياً (الحداثة) (Intensification (Recency)). عند الحصول على برنامج جيد، يتم تكثيف دورات البحث لإنتاج البرنامج القريب من المثالي في هذه المنطقة الجيدة: هذا يسمى في البحث المحظور بالبحث الموسع أفقياً (التردد) (Diversification (Frequency)). في الخوارزميات الجينية، إن البحث المكثف والموسع (Exploration and Exploitation) يقابل البحث الشاقولي والأفقي في البحث المحظور (Diversification and Intensification).



الشكل **2.5** مركبات طريقة البحث المحظور للجي بي اس.

القائمة المرشحة

تعتمد القائمة المرشحة **(Candidate List CL)** على نوعية المسألة المراد معالجتها ويمكن أن تُستنبط من مجال تحسين الشبكة (Network Optimization)، تفكيك الانتقال (Move Decomposition)، البحث العشوائي للعينات (Random Sampling)، التقييم الصافي (Elite Evaluation)، والقوائم ذات السمة المفضلة (Preferred Attribute Candidate Lists) (Glover and

(Laguna, 1997. تحتوي هذه القائمة على أفضل الانتقالات التي تعطي مجموعة البرامج الأقل كلفة والمجاورة للبرنامج الحالي. بالنسبة لكل عملية تكرارية، فإن عدد الانتقالات الممكنة في القائمة المرشحة يتغير تبعاً لطولها.

في هذه الكتاب، تُعدُّ القائمة المرشحة المفضلة ذات الطول الثابت (أي استاتيكيا) أكثر مناسبة للحالة الستاتيكية لشبكة الجي بي اس: وهذا قد تمَّ تطبيقه بنجاح. إن الهدف الأساسي لهذه القائمة تخفيض الجهد الحسابي لكامل مجموعة البرامج المجاورة. يمكن إنجاز ذلك فقط عند الأخذ بالحسبان مجموعة مفضلة فرعية (favourable subset) (التي ستؤدي بشكل محتمل إلى البرنامج الأقل كلفةً) من بين كل الانتقالات المتاحة للبرنامج الحالي، والتي تمَّ الحصول على هذه المجموعة بتطبيق آلية إنتاج التبادلات الداخلية للأشعة التي تستخدم بنية البحث المتتالي لمجموعة البرامج المجاورة.

مدة الحظر

يُعدُّ هذا المعامل تطبيقاً لاستراتيجية تُعرف التحديث الديناميكي (Dynamic Updating) لمدة الحظر **(Tabu Tenure TT)**. تُعطى مدة الحظر لانتقال ما بعدد يختاره المهندس المساحي بالاعتماد على أبعاد الشبكة، مثلاً الرقم 4، يعني إن الانتقالات مجمدة في مكانها على الأقل لأربعة تبادلات متتالية. إن مدة الحظر، والتي هي عدد العمليات التكرارية التي يحتفظ البرنامج بحالة الحظر الخاصة به، تُحدد بدايةً بقيمة زمنية معطاة ومن ثم تُعدل وفقاً لتطور سير دورات البحث.

إن الفكرة الرئيسية من ذلك تكثيف دورات البحث عند الاقتراب من المحلية الصغرى (Local Minimum)، وتسريع توسيع دورات البحث أفقياً (Diversification) بالابتعاد عن المحلية الصغرى التي تمَّ للتو المرور عليها. يتم الحصول على هذا التوسيع الأفقي بزيادة قيمة مدة الحظر وذلك لتجنب حذف السمات الخاصة بالبرامج (التي تمَّ الحصول عليها حديثا) من لائحة الحظر. وبالمقابل، يتم تكثيف دورات البحث شاقولياً (Intensification) بتخفيض هذه المدة ليسمح لعدد كبير من البرامج بأن تُؤخذ بعين الاعتبار كمرشحين في العملية التكرارية التالية.

عدد العمليات التكرارية

يمكن أن تستخدم طريقة البحث المحظور مجموعة صيغ لتوقيف العمل. إن أبسط صيغة التي تمَّ اعتمادها في هذه الدراسة أن يتم الإيقاف بعد عدد محدد من العمليات التكرارية **(Number of Iterations KK)**. تتطلب كل عملية تكرارية لطريقة البحث المحظور تحقيق أربع خطوات: **أولاً)** يجب خلط وتحريك (Perturbed) دورات البحث لإنتاج القائمة المرشحة للبرنامج الحالي، **ثانياً)** التحقق من حالة الحظر (Tabu Status) لأفضل برنامج ناتج. **ثالثاً)** استبدال البرنامج الحالي بأفضل برنامج ناتج إذا كان ذلك ضرورياً. **رابعاً)** تحديث لائحة الحظر بتخزين سمات أفضل برنامج ناتج في هذه اللائحة. إن عناصر طريقة البحث المحظور المتقدمة والأكثر تطوراً والمفضل استخدامها في حل مسائل التحسين التجميعي تمت مناقشتها في (Glover and Laguna, 1997).

النهج العملي لطريقة البحث المحظور للجي بي اس

تمَّ في هذا الجزء شرح النهج العملي لطريقة البحث المحظور متبوعاً بالخطوات التفصيلية. يُبين الشكل 3.5 التوصيف الموجز لتنفيذ هذا النهج، بينما يعرض الشكل 4.5 المخطط التوجيهي لهذا النهج. بعد اختيار البرنامج الأولي وتحديد مجموعة البرامج المجاورة له، يتم تعيين الانتقال. إن عمل هذا الانتقال تحويل برنامج ما في برنامج آخر. في البداية، تبدأ طريقة البحث المحظور بلائحة حظر فارغة مع قائمة مرشحة. في كل عملية تكرارية يتم اختبار مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج الحالي لكي يتم الحصول على أفضل برنامج مجاور والأقل كلفة مع تحديث القائمة المرشحة ولائحة الحظر لاستخدامهما في العملية التكرارية التالية وهكذا دواليك. بتطبيق استراتيجية الانتقاء والقبول، يتم انتقاء أفضل انتقال ممكن لإنتاج التحسين ذات القيمة العظمى (Greatest Improvement) أو الذي تنقصه أصغر قيمة تحسين في دالة الكلفة (Smallest Lack of Improvement) للبرنامج الحالي بشرط تحقيق قيود الحظر والقبول الاستثنائي. إن أفضل انتقال ممكن هو الانتقال ذات التطور الأكبر من حيث قيمة الكلفة وقيود الحظر.

من أجل منع حصول عملية دوران البحث غير المجدي وتوجيه دورات البحث إلى مناطق جديدة وجيدة، يُحتفظ بسجل تاريخ دورات البحث (Search History) في

لائحة الحظر ليستخدم في العملية التكرارية التالية. تحتوي لائحة الحظر على ذاكرة قصيرة الأمد لسجل تاريخ دورات البحث الحديثة جداً، وذاكرة طويلة الأمد للسجل القديم. على أي حال، في كل عملية تكرارية يتم إنتاج قائمة مرشحة ولائحة حظر جديدتين مع تحديد صيغة القبول الاستثنائي كما يلي: يتم قبول الانتقال المحظور إذا حقق صيغة القبول الاستثنائي. إن لائحة الحظر لن تسمح لعمليات البحث بالرجوع إلى البرامج التي تمَّ المرور عليها في العمليات التكرارية السابقة وذلك من خلال تخزين سماته كمحظورة. على كل حال، يمكن أن يحصل بأن يكون انتقال ما مهماً جداً ولكنه محظوراً. لذلك، يجب تعيين تابع قبول استثنائي من أجل تقدير الربح الناتج من استخدام هذا الانتقال المحظور ثانية. إذا كان هذا التقدير في الربح مقبولاً فإنه يتم اسقاط حالة الحظر (Tabu Status) عن هذا الانتقال المحظور مع إمكانيه تنفيذه (Glover, 1997a). بالإضافة إلى هذه العناصر، وبما أن سعة لائحة الحظر صغيرة، فإنه من الضروري تحديد كم من الزمن سيبقى انتقال ما في هذه اللائحة: يُعرف هذا بمدة الحظر. وهكذا في كل عملية تكرارية لطريقة البحث المحظور للجي بي اس، يتم إنتاج كل الانتقالات الممكنة (مجموعة البرامج المجاورة) والتفتيش عن الأفضل (القائمة المرشحة). إذا لم يكن الانتقال محظوراً، يتم قبوله. إذا كان محظوراً (أي موجود في لائحة الحظر) يُرفض بهدف تجنب حدوث عملية دوران البحث غير المجدي، أو يتم قبوله إذا كان يحقق صيغة القبول الاستثنائي. إذا لم يتم قبول الانتقال الأفضل، فإنه يتم استخدام ثاني أفضل انتقال في القائمة المرشحة، وهكذا دواليك. يتم باستمرار تحديث أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه مع عناصر التحكم المتعلقة بهذا البرنامج. تتوقف طريقة البحث المحظور للجي بي اس عند تحقيق صيغة إيقاف العمل. تتحقق صيغة الإيقاف لهذه الطريقة عندما يكون عدد العمليات التكرارية التي لا تُعطي أي تحسين إضافي بالنسبة لأفضل برنامج تنظيم تمَّ الحصول عليه أكبر من القيمة الثابتة التي تمَّ تحديدها مسبقاً (Fixed a Priori).

4.5 اختبار أداء طريقة البحث المحظور في تصميم شبكة الجي بي اس

تمَّ تطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس على شبكات ذات حلول مثالية معروفة وذلك لتقييم أدائها بالنسبة لجودة البرنامج والجهد الحسابي (Dare 1995). يُفصِّل هذا الجزء الخبرة الحسابية لهذه الطريقة باستخدام الشبكات ذاتها التي تمَّ اختبارها في طريقة التلدين التجريبي كما هو موضح في الجزء 4.5.

إن الحلول القريبة من المثالية الناتجة باستخدام طريقة البحث المحظور تملك النتائج ذاتها كما في البرامج المثالية المعروفة المبيَّنة في المرجع (Saleh and Dare 1998c) والتي سيتم عرضها هنا. إن النهج الحسابي موضح بالتفصيل في الأجزاء التالية. في هاتين الحالتين، كلٍ من البرنامج المثالي والبرنامج الناتج بطريقة البحث المحظور لهما القيمة ذاتها وبالتالي فإن مقدار الانحراف المئوي النسبي مساوية للصفر (RPD = 0).

كما في الفصل الرابع، **إن المثال الاول**، عبارة عن شبكة افتراضية، يتكون من برنامج مثالي بكلفة 13 دقيقة. وإن البرنامج الأولي للبدء (V0) ذات القيمة 17 دقيقة تمَّ اختياره بشكل عشوائي ويتكون من القياسات الزمنية التالية (Ua-b Ua-c Ua-d Ub-d Uc-d Uc-b). وإن الشبكة الافتراضية ومصفوفات الكلفة الأساسية والفعلية يمكن إيجادهم في الشكل 7.4، والجدول 2.4، والجدول 3.4 على التوالي في الجزء 5.4.

لتطبيق طريقة البحث المحظور بنجاح، فإنه يجب الحفاظ على حالة الحظر. إذا تبّين بأن انتقال ما محظور سيعطي برنامج أفضل من أي برنامج تمَّ المرور عليه مسبقاً، فإنه يتم تجاوز حالة الحظر الخاصة به. إن صيغة القبول الاستثنائي، التي تمَّ شرحها في الجزء 5.1.4.5، تُمثِّل الشرط الذي يسمح بحدوث مثل هذا التجاوز. بتطبيق طريقة البحث المحظور على البرنامج الأولي، فإن العمليات التكرارية الآتية توضح سلوك استراتيجية البحث المحظور في تطبيق قيود الحظر وصيغة القبول الأستثنائي للحصول السريع على البرنامج الأقل كلفة.

العملية التكرارية البدائية ذات الرقم 0 (البرنامج الأولي للبدء) (Iteration 0):

في البداية تكون لائحة الحظر فارغة (أي مملوءة بالأصفار)، تشير إلى عدم وجود انتقالات محظورة في بداية دورات البحث كما هو مبين في الشكل 5.5A. لتأمين المعلومات المطلوبة حول قيم دالة الكلفة لكل الانتقالات الممكنة في البرنامج الأولي (V0)، تمَّ تصميم مبدأ تقييم مناسب لمجموعة البرامج المجاورة لتحديد قيم الانتقال لهذه الشبكة كما هو مبين في الشكل 5.5C، بينما يعرض الشكل 5.5B تغيرات منحني دالة الكلفة في مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج

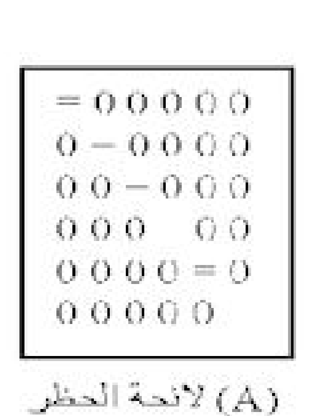
الأولي ((V0) I). بعد إنتاج هذه المجوعة، يتم تشكيل القائمة المرشحة (CL=4) بانتقاء أفضل أربعة انتقالات في هذه المجموعة كما هو مبين في الشكل5.5D. تمَّ إعطاء القيمة 3 لمدة الحظر (TT=3)، وحجم لائحة الحظر بالبعد المصفوفي ([6*6]) تبعاً لعدد الأشعة الزمنية في البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة.

بشكل أساسي، ليس ضرورياً للقائمة المرشحة فرز وتحديد كل من أفضل الانتقالات الأربعة، حيث إن الانتقال الأفضل الذي يؤدي إلى البرنامج الأقل كلفةً هو المهم. إن الخيارات الإضافية وضعت في القائمة المرشحة لتوضيح مبدأ استراتيجية البحث المحظور التي ستعرض لاحقاً. إن البرنامج الموجود في أعلى القائمة المرشحة بالمدخلات (M=0 with entry i=0 and j=1) يمثل القيمة العظمى المحلية (Local Maximum) للبرنامج الأولي والناتج من التبادل بين الشعاعين (i=Ua-b) و(j=Ua-c). وهكذا، فإن القيمة العظمى المحلية للبرنامج الأولي (V0) تمثل البرنامج الحالي الجديد للعملية التكرارية التالية وهو البرنامج الاول1 (V1).

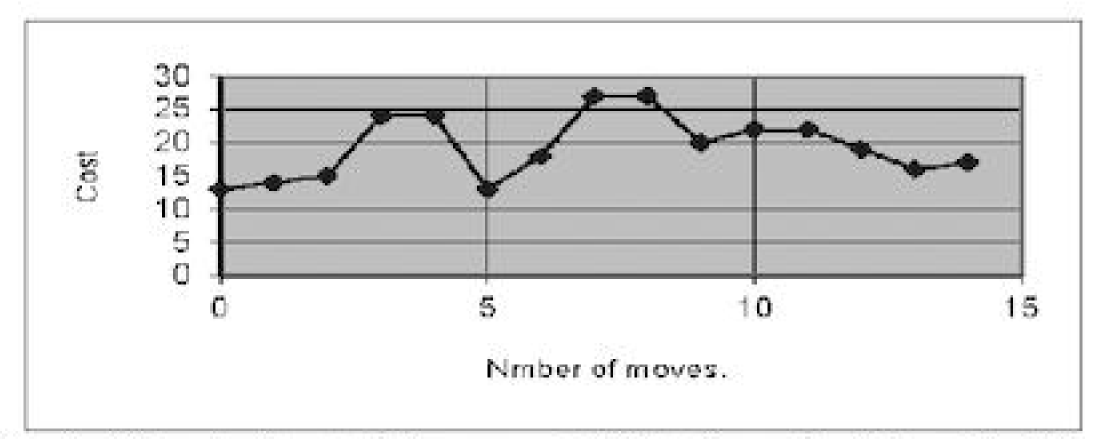
إن إنتاج مجموعة البرامج المجاورة المحلية وتغيرات الكلفة في العمليات التكرارية الثلاثة الأولى (2، 1، 0)، معروضة على التوالي في الأشكال 5.5 (B and C), 6.5 (B and C)، و7.5 (C and B). إن الهدف من هذا التوضيح التخطيطي إظهار أهمية عمل استراتيجية الانتقاء والقبول لطريقة البحث المحظور للجي بي اس. تختار القائمة المرشحة في كل عملية تكرارية أفضل أربعة برامج تنظيم وتقوم بترتيبهم بشكل تنازلي (Descending Order). بعدها تنتقي طريقة البحث المحظور للجي بي اس أفضل برنامج (والذي ليس محظوراً) وتجعله البرنامج الحالي الذي سيتم استخدامه في العملية التكرارية التالية.

المرحلة التكرارية الأولى (Iteration 1)

إن البرنامج الحالي والجديد (V1= [Ua-c Ua-b Ua-d Ub-d Uc-d Uc-b]) يملك الكلفة 13 دقيقة. يظهر الشكل 5.6 A الآن أن التبادل بين مواقع الأشعة (Ua-b) و(Ua-c) ممنوع لثلاث عمليات تكرارية (TT =3) كما هو مبين في الجزء العلوي بالمدخلات (i=0، j=1) للذاكرة المبنية على الحداثة في قائمة الحظر.



(A) لائحة الحظر



(B) التغير انطوبولوجي لقيم الكلفة في مجموعة لبرامج المجاورة للبرنامج V_0 0

Move number M	Swap Ui Uj	Generated schedule V	Resultant cost C(V)
0	i=0 j=1	U_{a-c} U_{a-b} U_{a-d} U_{b-d} U_{c-d} U_{c-b}	13
1	i=0 j=2	U_{a-d} U_{a-c} U_{a-b} U_{b-d} U_{c-d} U_{c-b}	14
2	i=0 j=3	U_{b-d} U_{a-c} U_{a-d} U_{a-b} U_{c-d} U_{c-b}	15
3	i=0 j=4	U_{c-d} U_{a-c} U_{a-d} U_{b-d} U_{a-b} U_{c-b}	24
4	i=0 j=5	U_{c-b} U_{a-c} U_{a-d} U_{b-d} U_{c-d} U_{a-b}	24
5	i=1 j=2	U_{a-b} U_{a-d} U_{a-c} U_{b-d} U_{c-d} U_{c-b}	13
6	i=1 j=3	U_{a-b} U_{b-d} U_{a-d} U_{a-c} U_{c-d} U_{c-b}	18
7	i=1 j=4	U_{a-b} U_{c-d} U_{a-d} U_{b-d} U_{a-c} U_{c-b}	27
8	i=1 j=5	U_{a-b} U_{c-b} U_{a-d} U_{b-d} U_{c-d} U_{a-c}	27
9	i=2 j=3	U_{a-b} U_{a-c} U_{b-d} U_{a-d} U_{c-d} U_{c-b}	20
10	i=2 j=4	U_{a-b} U_{a-c} U_{c-d} U_{b-d} U_{a-d} U_{c-b}	22
11	i=2 j=5	U_{a-b} U_{a-c} U_{c-b} U_{b-d} U_{c-d} U_{a-c}	22
12	i=3 j=4	U_{a-b} U_{a-c} U_{a-d} U_{c-d} U_{b-d} U_{c-b}	19
13	i=3 j=5	U_{a-b} U_{a-c} U_{a-d} U_{c-b} U_{c-d} U_{b-d}	16
14	i=4 j=5	U_{a-b} U_{a-c} U_{a-d} U_{b-d} U_{c-b} U_{c-d}	17

(C) مجموعة البر مج المجاورة للبرنامج 0

Move number M	Swap Ui Uj	Generated schedule V	Resultant cost C(V)	Tabu status
0	i=0 j=1	U_{a-c} U_{a-b} U_{a-d} U_{b-d} U_{c-d} U_{c-b}	13	Best
5	i=1 j=2	U_{a-b} U_{a-d} U_{a-c} U_{b-d} U_{c-d} U_{c-b}	13	
1	i=0 j=2	U_{a-d} U_{a-c} U_{a-b} U_{b-d} U_{c-d} U_{c-b}	14	
2	i=0 j=3	U_{b-d} U_{a-c} U_{a-d} U_{a-b} U_{c-d} U_{c-b}	15	

(D) القائمة لمرشحة

الشكل 5.5 معامل الحظر في العملية التكرارية البدائية.

يحتوي الجزء السفلي (Lower Diagonal) للائحة الحظر على عداد مرات التردد (Frequency Counts) لكل انتقال في هذه العملية التكرارية. إن الذاكرة المبنية على التردد (Frequency-Based Memory) تقوم بتزويد المعلومات التي تكمل المعلومات المعطاة من الذاكرة المبنية على الحداثة لتكبير وتوسيع مجال

اختيار أفضل الانتقالات. سيتم ملاحظة تأثير دور هذا التكامل بين كلٍ من الذاكرتين خلال العمليات التكرارية التالية. تمَّ إنتاج مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج1 (V1) وتشكيل القائمة المرشحة كما هو مبين في الأشكال 6.5C و6.5D على التوالي. إن الانتقال الأكثر مساهمة في التحسين في هذه المرحلة هو الثاني في القائمة المرشحة كما هو مبين في الشكل 6.5D. يُشكل الانتقال بالمدخلات (M=5 with entry i=1, j=2) أفضل برنامج ويمثل القيمة العظمى المحلية للبرنامج1 كالانتقال الأول بالمدخلات (M=0 with entry i=0, j=1) الذي له الكلفة ذاتها كالانتقال الثاني وإنه ممنوع من الاستخدام لثلاث عمليات تكرارية متتالية (TT =3). وبهذا، فإن عمليات دوران البحث غير المجدي لن تحدث. إن القيمة العظمى المحلية للبرنامج1 تمثل البرنامج الحالي الجديد للعملية التكرارية التالية والمكوَّن من (V2= [Ua−b Ua−d Ua−c Ub−d Uc−d Uc−b]).

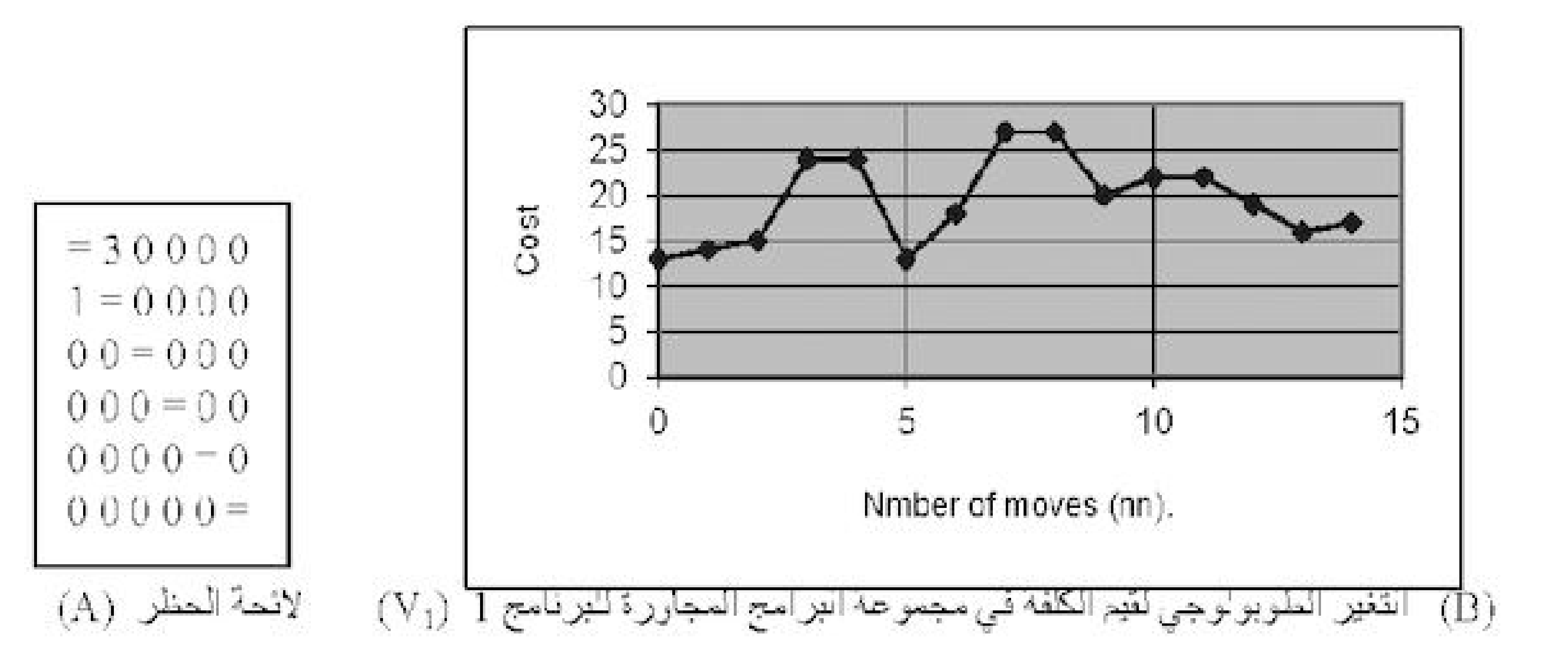
المرحلة التكرارية الثانية (Iteration 2)

إن البرنامج 2 الحالي والجديد (V2) أصبح أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه حتى الآن وبكلفة مقدارها 13 دقيقة. في هذه العملية التكرارية، اثنان من التبادلات الداخلية بين الأشعة (Two Sessions-Interchange) تمَّ تصنيفهما بالحظر كما تدل المدخلات ذات القيم الرقمية غير الصفر (Non-Zero) في الجزء العلوي للذاكرة المبنية على الحداثة للائحة الحظر في الشكل 7.5 A. كما هو ملاحظ فإن مدة الحظر للتبادل ذات المدخلات (M=0 and entry i=0, j=1) بين الأشعة (Ua−b) و(Ua−c) في الشكل 5.5D تمَّ تخفيفها من 3 إلى 2 عمليات تكرارية متبقية (TT=2)، بينما مدة الحظر للتبادل ذات المدخلات (M=5 and entry i=1, j=2) بين الأشعة (Ua−c) و(Ua-d) في الشكل 6.5 Dممنوع لثلاث عمليات تكرارية متتالية (TT =3). يحتوي الآن الجزء السفلي للذاكرة المبنية على التكرار لقائمة الحظر على عداد مرات التكرار لكلا الانتقالين السابقين. إن مجموعة الجداول المجاورة للبرنامج2 تمَّ إنتاجها مع تشكيل القائمة المرشحة الجديدة للعملية التكرارية الثالثة كما هو مبين في الأشكال 7.5C و7.5D على التوالي. إن البرنامج ذات المدخلات (M=13 with entry i=3، j=5) الموجود في الجزء الأعلى للقائمة المرشحة يمثل القيمة العظمى

المحلية للبرنامج2 والذي سيُستخدم كبرنامج حالي في العملية التكرارية التالية.

المرحلة التكرارية الثالثة (Iteration 3):

إن البرنامج3 الحالي الجديد (V3= [Ua-b Ua-d Ua-c Uc-b Uc-d [Ub-d]) والذي له نفس الكلفة كالبرنامج2 (V2) أصبح أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه حتى الآن وله الكلفة 13 دقيقة. في العملية التكرارية الثالثة، ثلاثة من التبادلات الداخلية بين الأشعة (Three Sessions-Interchange) تمَّ تصنيفها بالحظر وبمدد حظر متبقية مختلفة كما تدل المدخلات ذات القيم غير الصفر في الجزء العلوي للذاكرة المبنية على الحداثة للائحة الحظر في الشكل 8.5B. كما هو ملاحظ فإن مدة الحظر للتبادل ذات المخلات (M=0 and entry i=0, j=1) بين الأشعة (Ua-b) و(Ua-c) في الشكل 5.5 Dتمَّ تخفيفه من 2 إلى 1 عملية تكرارية متبقية (TT=1). إن مدة الحظر للتبادل ذات المدخلات (M=5 and entry i=1, j=2) بين الأشعة (Ua-d) و(Ua-c) في الشكل 6.5D انخفضت من 3 إلى 2 عمليات تكرارية متبقية (TT=2). بينما التبادل (M=13 and entry i=3, j=5) بين الأشعة (Ua-c) و(Ub-d) في الشكل7.5 Dممنوع لثلاث عمليات تكرارية متتالية (TT=3). يحتوي الآن الجزء السفلي للذاكرة المبنية على الحداثة للائحة الحظر على عداد مرات التكرار للانتقالات الثلاثة السابقة. تمَّ إنتاج مجموعة الجداول المجاور للبرنامج (V3) وتشكيل قائمة مرشحة جديدة للعملية التكرارية الرابعة كما هو مبين في الشكل 8.5A. إن البرنامج ذات المدخلات (M=1 with entry i=3, j=4) الموجود في الجزء الأعلى للقائمة المرشحة يمثل القيمة العظمى المحلية للبرنامج 3 (V3) والذي سيستخدم كبرنامج حالي في العملية التكرارية التالية.



(A) لائحة الحظر

(B) التغير الطوبولوجي لقيم الكلفة في مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج 1 (V_1)

Move number M	Swap Ui Uj	Generated schedule V	Resultant cost (V)
0	i=0 j=1	U_{a-c} U_{a-b} U_{a-d} U_{b-d} U_{c-d} U_{c-b}	13
1	i=0 j=2	U_{a-d} U_{a-c} U_{a-b} U_{b-d} U_{c-d} U_{c-b}	14
2	i=0 j=3	U_{b-d} U_{a-c} U_{a-d} U_{a-b} U_{c-c} U_{c-b}	15
3	i=0 j=4	U_{c-d} U_{a-c} U_{a-d} U_{b-c} U_{a-b} U_{c-b}	24
4	i=0 j=5	U_{c-b} U_{a-c} U_{a-d} U_{b-d} U_{c-d} U_{a-b}	24
5	i=1 j=2	U_{a-b} U_{a-d} U_{a-c} U_{b-c} U_{c-d} U_{c-b}	13
6	i=1 j=3	U_{a-b} U_{b-c} U_{a-c} U_{a-c} U_{c-d} U_{c-b}	18
7	i=1 j=4	U_{a-b} U_{c-d} U_{a-d} U_{b-d} U_{a-c} U_{c-b}	27
8	i=1 j=5	U_{a-b} U_{c-b} U_{a-d} U_{b-d} U_{c-d} U_{a-c}	27
9	i=2 j=3	U_{a-b} U_{a-c} U_{b-d} U_{a-c} U_{c-d} U_{c-b}	20
10	i=2 j=4	U_{a-b} U_{a-c} U_{c-d} U_{b-d} U_{a-d} U_{c-b}	22
11	i=2 j=5	U_{a-b} U_{a-c} U_{c-b} U_{b-c} U_{c-d} U_{a-d}	22
12	i=3 j=4	U_{a-b} U_{a-c} U_{a-d} U_{c-d} U_{b-d} U_{c-b}	19
13	i=3 j=5	U_{a-b} U_{a-c} U_{a-d} U_{c-b} U_{c-d} U_{b-d}	16
14	i=4 j=5	U_{a-b} U_{a-c} U_{a-d} U_{b-c} U_{c-b} U_{c-d}	17

(C)مجموعة الجداول المجاورة للبرنامج 1(V_1).

Move number M	Swap Ui Uj	Generated schedule V	Resultant cost C(V)	Tabu status
0	i=0 j=1	U_{a-c} U_{a-b} U_{a-d} U_{b-d} U_{c-c} U_{c-b}	13	Tabu
5	i=1 j=2	U_{a-b} U_{a-d} U_{a-c} U_{b-d} U_{c-d} U_{c-b}	13	Best
1	i=0 j=2	U_{a-d} U_{a-c} U_{a-b} U_{b-d} U_{c-c} U_{c-b}	14	
2	i=0 j=3	U_{b-d} U_{a-c} U_{a-d} U_{a-b} U_{c-d} U_{c-b}	15	

(D) القائمة لمرشحة.

الشكل 6.5 معامل الحظر في العملية التكرارية الأولى.

Move number M	Swap Ui Uj	Generated schedule V	Resultant cost C(V)	Tabu status
1	i 3 j 4	U_{a-b} U_{a-d} U_{a-c} U_{c-d} U_{c-b} U_{b-c}	13	Best
12	i 0 j 2	U_{a-c} U_{a-d} U_{a-b} U_{c-b} U_{c-d} U_{b-c}	13	
13	i 3 j 5	U_{a-b} U_{a-d} U_{a-c} U_{b-c} U_{c-d} U_{c-b}	13	
0	i 0 j 1	U_{a-d} U_{a-b} U_{a-c} U_{c-d} U_{c-b} U_{b-c}	14	

(A) لقائمة المرشحة

= 1 0 0 0 0
1 = 2 0 0 0
0 1 = 0 0 0
0 0 0 = 0 3
0 0 0 0 = 0
0 0 0 1 0 =

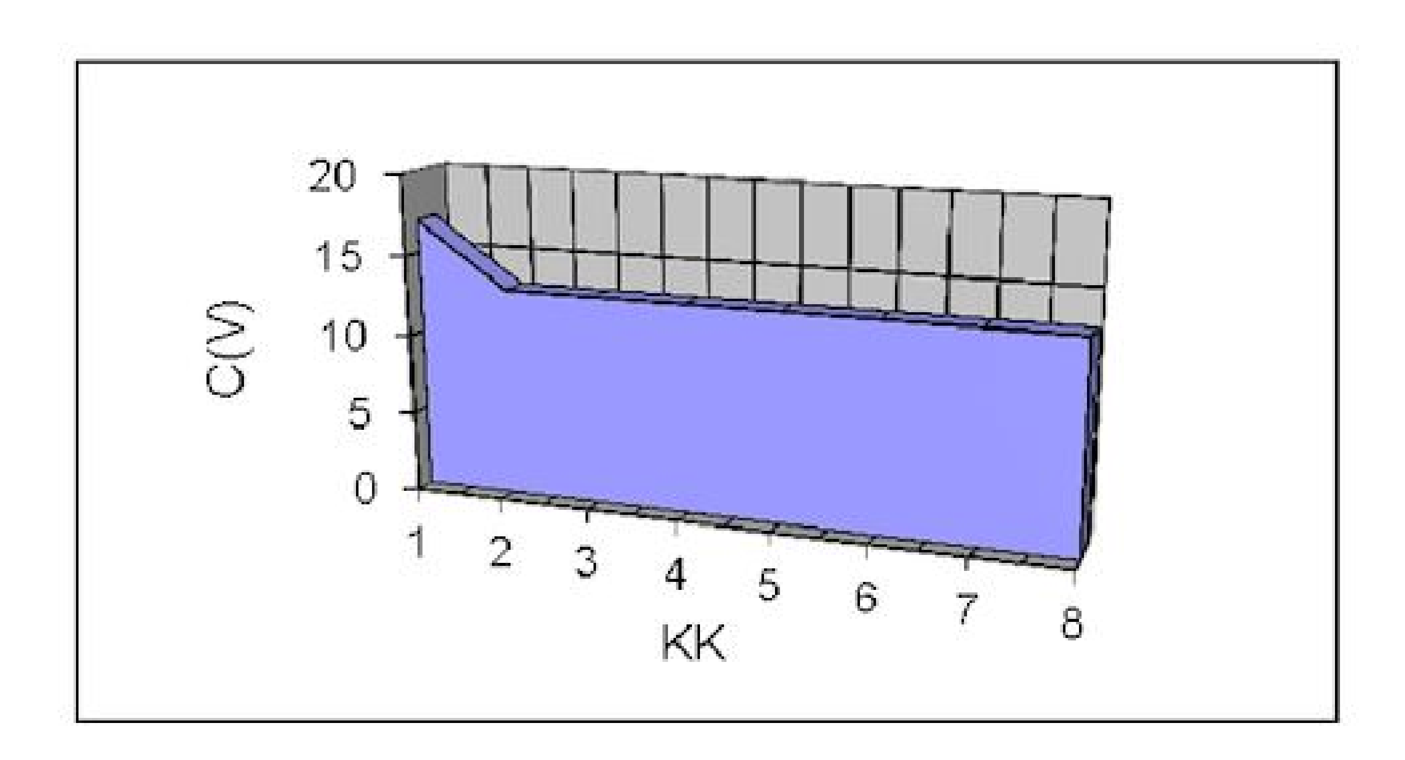
لائحة الحظر (B)

الشكل 8.5 معامل الحظر في العملية التكرارية الثالثة.

المرحلة التكرارية الثامنة (Iteration 8)

في هذه العملية التكرارية، تمَّ الحصول على البرنامج 8 (V8) الأقل كلفة بقيمة مقدارها 13 دقيقة. إن الذاكرة المبنية على الحداثة في الشكل A 105 تشير بأن التبادلات الثنائية للأشعة الثلاثية الأخيرة قد حصلت بين الشعاعين (Ua-b) و(Ua-d) ذات المدخلات (i=0, j=2)، والشعاعين (Ua-c) و(Ua-d) ذات المدخلات (i=1, j=2)، والشعاعين (Ub-d) و(Uc-d) ذات المدخلات (i=3, j=4). تُظهر القراءات الرقمية (العداد) في الذاكرة المبنية على التكرار توزع الانتقالات خلال العمليات التكرارية السبع الأولى. إن دور هذه القراءات لتوسيع دورات البحث أفقياً وتوجيهها إلى مناطق جديدة. إن عدادًّ تكرار الإقامة يشير بأن انتقال ما مرغوب جداً وسينتج برنامج ذات جودة عالية، أو، ربما يدل عكس ذلك! إن المهندس المساحي يستطيع أن يستنتج من القراءات الرقمية (2) في الجزء السفلي للشكلA 10.5بأن التبادل بين الشعاعين (Ua-d) و(Ua-c) مرغوب بشكل كبير جداً وسيعطي تخفيضاً جيداً في كلفة البرنامج. بالمقابل، إن القراءات الرقمية (0) على سبيل المثال، تشير إن التبادل بين الشعاعين (Ub-d) و(Ua-d) غير مجدٍ وسيعطي برنامجاً بجودة متدنية. يتوقف عمل طريقة البحث المحظور للجي بي اس عندما تتحقق صيغة الإيقاف. إن صيغة الإيقاف المعتمدة في هذا المثال هي أن تتوقف الطريقة بعد عدد معين من العمليات

التكرارية، ثمان عمليات (KK=8). إن البرنامج القريب من المثالي الناتج عن تطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس يملك القيمة 13 دقيقة ويتألف من الأشعة المتتالية ((Ua-c) (Ua-b) (Ua-d) (Uc-b) (Uc-d) (Ub-d))



الشكل 11.5 الشكل التخطيطي لأفضل برنامج عمل تمَّ الحصول عليه بالنسبة لعدد العمليات التكرارية لطريقة البحث المحظور المطبَّقة على الشبكة في الشكل 7.4.

Recency based memory

=	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0
0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=

Frequency based memory

الجدول 1.5 الشكل المصفوفي للائحة الحظر ([20*20] =TL)

5.5 الاستنتاج

تمَّ في هذا الفصل تطوير طريقة البحث المحظور للجي بي اس المعدلة بحيث تسمح بالحصول السريع على برنامج تنظيم العمل الحقلي على أساس التحسين لرصد وتصميم شبكات الجي بي اس المساحية. فقد تمَّ عرض تطبيق طريقة البحث المحظور الجديدة على الشبكات المساحية المرصودة بالجي بي اس، وتمَّ تحديد أفضل تصميم لطريقة البحث المحظور للجي بي اس. إن هذه الطريقة والتي هي عبارة عن تحسين تكراري شامل (Global Iterative Optimisation) تنتقل من برنامج إلى آخر لكي تُخفِّض كلفة البرامج التي تمَّ المرور عليها. عندما تمر هذه الطريقة على مطب المثالية المحلية (Local Optimum) فإنها لا تتوقف عندها، بل تتجاوزها باختيار أفضل برنامج مجاور ممكن. لكي يتم تجنب عمليات دوران البحث غير المجدي، إن الانتقال الذي يُرجع أساليب التحسين باتجاه البرنامج ذات الكلفة الباهظة والذي تمَّ المرور عليه للتو فهو محظور (ممنوع من الاستخدام). يتم القيام بعمل مهمة الحظر هذه عن طريق حفظ هذا الانتقال المحظور في بنية مصفوفية تسمى لائحة الحظر. في هذه الطريقة المطوَّرة، إن استخدام استراتيجيات القائمة المرشحة في دورات البحث التجميعي يقدم أفضل الطرق لتوفير الجهد الحسابي دون إن يؤثر ذلك على جودة برنامج تنظيم العمل الحقلي.



الفصل السادس

طريقتا التركيب التجريبي والبحث المحظور لتصميم شبكة الجي بي اس في مالطا

1.6 مقدمة

في هذا الفصل، سيتم تحليل شبكة جي بي اس فعلية ذات أبعاد أكبر في مالطا، مع عرض برنامج تنظيم العمل الحقلي الذي تمَّ إنتاجه يدوياً والصيغة الرياضية لهذه الشبكة كمسألة تحسين تجميعي. سيتم أيضاً شرح الخطوط العريضة لمراحل تطبيق طريقتي البحث المحظور والتلدين التجريبي في تصميم هذه الشبكة، مع التحقق من معامل الحظر والتبريد وتحليل تأثيرها على أداء هذه الطرق التقريبِّية المطبَّقة. أخيراً، سيتم إجراء المقارنة بين أداء الطرق التقريبِّية المطوَّرة على أساس الجهد الحسابي وجودة البرنامج الناتج.

2.6 صياغة البرمجة الرياضية لشبكة الجي بي اس في مالطا

تمَّ إنشاء شبكة أساسية جديدة تمتد من جزر مالطا وغوز ووكومينو باستخدام نظام تحديد المواقع الجي بي اس خلال الفترة من تموز-أيلول 1993. كما هو موضح في الشكل 1.6، استغرقت مدة هذا المشروع المبني على استخدام الجي بي اس أسبوعين متتالين لرصد الأشعة الزمنية بالتعاون بين مدرسة المساحة في جامعة شرق لندن ووحدة رسم الخرائط في جمهورية مالطا. كل المعلومات المتعلقة ببرنامج تنظيم العمل الحقلي وبيانات الجي بي اس والمتطلبات

التشغيلية، وأهداف هذه الدراسة بما في ذلك تاريخ الأعمال المساحية في مالطا، وتصميم الشبكة والعمليات اللوجستية وعمليات الاستطلاع الميداني، ومصفوفات الكلفة الأساسية والفعلية، ينظر: (Dare, 1994). إن برنامج تنظيم العمل الحقلي الفعلي المرصود (VOBS) ذات القيمة (2264) دقيقة تمَّ إنتاجه يدوياً باستخدام الحدس والخبرة على أساس يومي (Day-To-Day Basis) حيث في نهاية يوم عمل، يتم إنشاء برنامج ليوم العمل التالي. تمَّ تعديل كلفة البرنامج المرصود ليُستخدم كبرنامج أولي بقيمة (1405) دقيقة من قبل كلٍ من طريقتي التلدين التجريبي للجي بي اس والبحث المحظور للجي بي اس. توجد عدة أسباب لهذا التعديل: لقد تمَّ بناء قيم الكلفة الأساسية باستخدام الأزمنة الفعلية للتنقل بين نقاط الشبكة. على أي حال، تضمنت بعض أوقات التنقل هذه فواصل زمنية طويلة (استراحات) بسبب الحرارة المفرطة، وبالتالي تمَّ تعديل هذه التكاليف لاستبعاد هذه الفواصل الزمنية.

تمَّ تطبيق بعض التعديلات على البرنامج المرصود وفقاً لمتطلبات طبيعة عمل نظام تحديد المواقع العالمي الجي بي اس وعمليات البحث التقريبي. **أولاً**، التمييز بين مجموعة الأشعة المرصودة بجهازين ومجموعة الأشعة المرصودة بثلاثة أجهزة وترتيبها في برامج فرعية (J1) و(J2) بحيث لا يجوز إجراء عملية المبادلة بين مركبات هاتين المجموعتين. **ثانياً**، بافتراض إن جهاز الاستقبال (R1) موجود في نقطة خزان زونكور (Zonqor Reservior)، وجهاز الاستقبال (R2) موجود في نقطة تل مادونا (Tal-Madonna)، وجهاز الاستقبال (R3) موجود في نقطة ميليها فورت (Fort Mellieha) الموافقة لمواقع الأشعة (U37) (U30) (U27) على التوالي بحيث يتمَّ السماح بإجراء المبادلة بين هذه الأشعة والأشعة المجاورة لها. ثالثاً، تمَّ حذف الشعاع الأخير (U38) لأنه تمَّ رصده بشكل فردي بعد أسبوعين من رصد الشعاع (U37).

إن الهدف الرئيسي من استخدام طرق الجي بي اس التقريبيِّة هو تخفيض الزمن الإجمالي لرصد الشبكة (Makespan=1405 minutes). إن أفضل الوسائل لقياس فعَّالية هذه الطرق هو التخفيض النسبي في قيمة الزمن الإجمالي (RRM) الناتج عن تطبيق هذه الطرق بالنسبة للبرنامج الأولي (VINT)، أي،

RRM%= [(MINT - MBFS)/ MBFS]*100. (6.1)

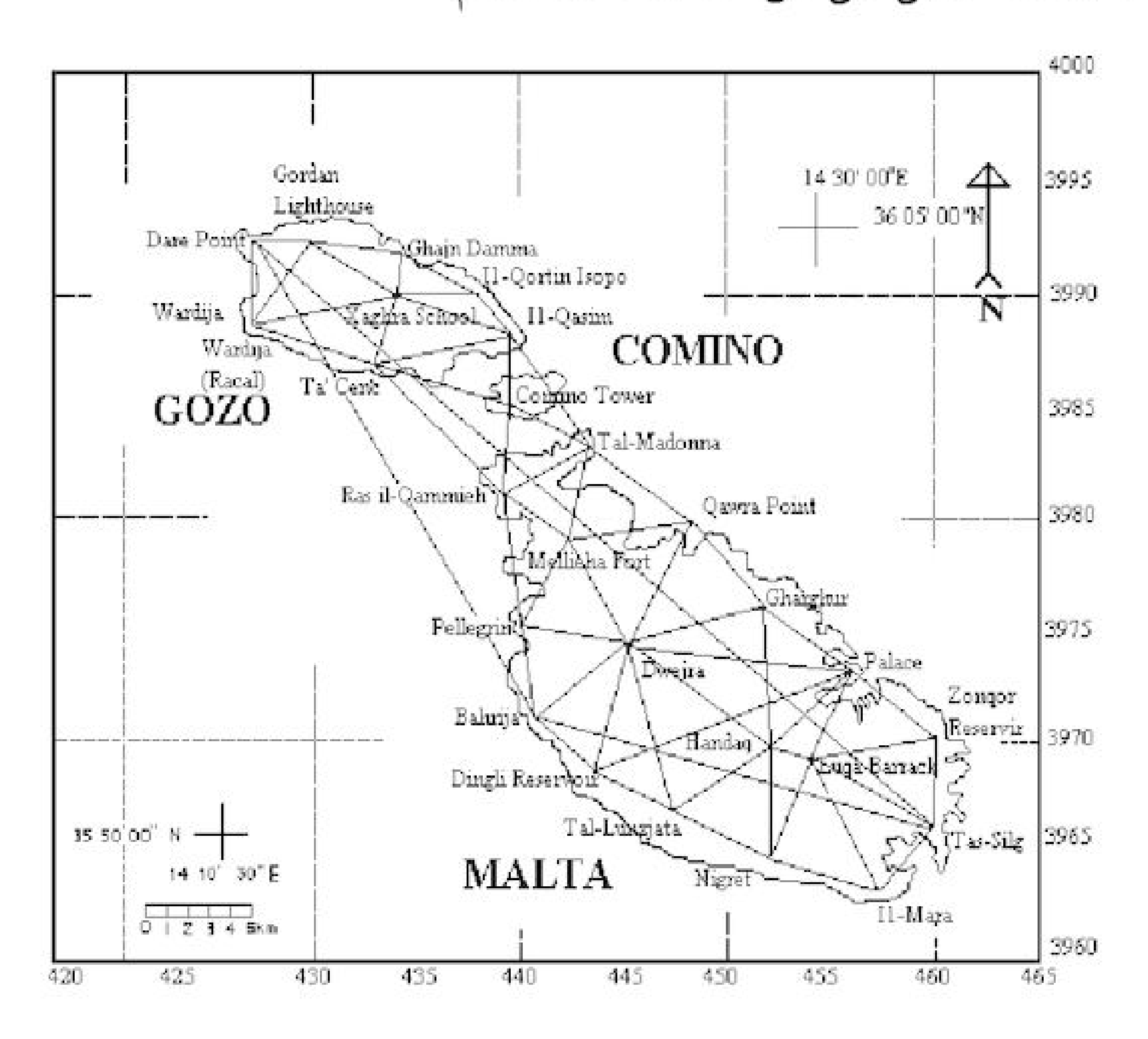
حيث إن:

RRM: التخفيض النسبي للكلفة الإجمالية.

MINT: الزمن الكلي للبرنامج الأولي (VINT).

MBFS: الزمن الكلي لأفضل برنامج تمَّ الحصول عليه (VBFS) باستخدام طرق الجي بي اس التقريبيِّة.

يتم تقييم أداء طرق الجي بي اس التقريبيِّة وفقاً لتخفيضات القيمة الإجمالية (makespan) التي يتم الحصول عليها لعدة قيم مختلفة بالنسبة للمسألة المدروسة ومعاملات تحكم الطريقة. تمَّ استخدام الرسوم البيانية ذات المخططات العمودية (Bar graphs) لتوضيح هذا السلوك وذلك برسم التخفيض النسبي في القيمة لأفضل برنامج تمَّ الحصول عليه (VBFS) بالنسبة لقيمة البرنامج الأولي (VINT) وذلك مقابل كل من معاملات التحكم.



الشكل 1.6. تصميم شبكة الجي بي اس في مالطا (from Dare, 1995)

3.6 التطبيق العملي لطريقة التلدين التجريبي في تصميم شبكة الجي بي اس في مالطا

تمَّ في هذا الجزء، توضيح استراتيجية طريقة التلدين التجريبي ذاتها للجي بي اس وتطبيقها على شبكة الجي بي اس لمالطا. في تطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس، كما هو في أي تطبيق للتلدين التجريبي، فإنه من المهم جداً استخدام معامل التبريد الجيدة والمختارة بعناية والتي يجب تحديدها وفقاً لحجم الشبكة المدروسة. تتألف هذه المعامل من: القيمة الأولية للحرارة البدائية (Ti)، الحرارة النهائية (Tf)، عامل سلسلة ماركوف (L)، عامل تعديل الحرارة بين السلاسل (F)، وعدد العمليات التكرارية (K).

النهج العملي لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اي اس

إن النهج العملي لتطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس المستخدم في هذا الفصل هو ذاته كما تمَّ توصيفه الفصل الرابع. على أي حال، لمساعدة القارئ سيتم تلخيصه هنا ثانية. إن خطوات تطبيق هذا الإجراء على شبكة مالطا كما يلي:

آ- التحضيرات الأولية (Initialisation)

الخطوة الأولى: إنتاج البرنامج الأولي (VINT) بكلفة ((C(VINT)) يدوياً باستخدام مصفوفة الكلفة الفعلية.

الخطوة الثانية: تحديد قيم معامل التبريد:

- تحديد قيمة الحرارة الأولية (Ti).
- تحديد قيمة الحرارة النهائية (Tf).
- تحديد قيم طول سلسلة ماركوف (L).
- تحديد قيمة عامل تعديل الحرارة (F).
- تحديد قيمة عداد المحاولات التكرارية (K).

في هذه الخطوة، تمَّ تشكيل دورة اختبار من دورات البحث على مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج الأولي للحصول على القيم العظمى والصغرى لدالة الكلفة

$(C(V_{INT})\{[Ti=C(Vmax)= 1850], [T_f=C(Vmin)1355]\})$

ب- اختيار وقبول الجداول المجاورة الناتجة (Selectionand acceptance of generated neighbours)

الخطوة الثالثة: اختيار البرنامج البديل من مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج الأولي ((V'∈ I(VINT))

- حساب الفرق في الكلفة ((Δ = C(V') - C (VINT))
- إذا كانت (Δ ≥ {0 أو { e−Δ/ T >θ) حيث (θ) القيمة العددية للمتحول العشوائي (1>θ>0).

فإنه يتم قبول البرنامج الجديد (V') كبرنامج حالي (VCS) ويتم وضعه مكان البرنامج الحالي (VCS→VINT)

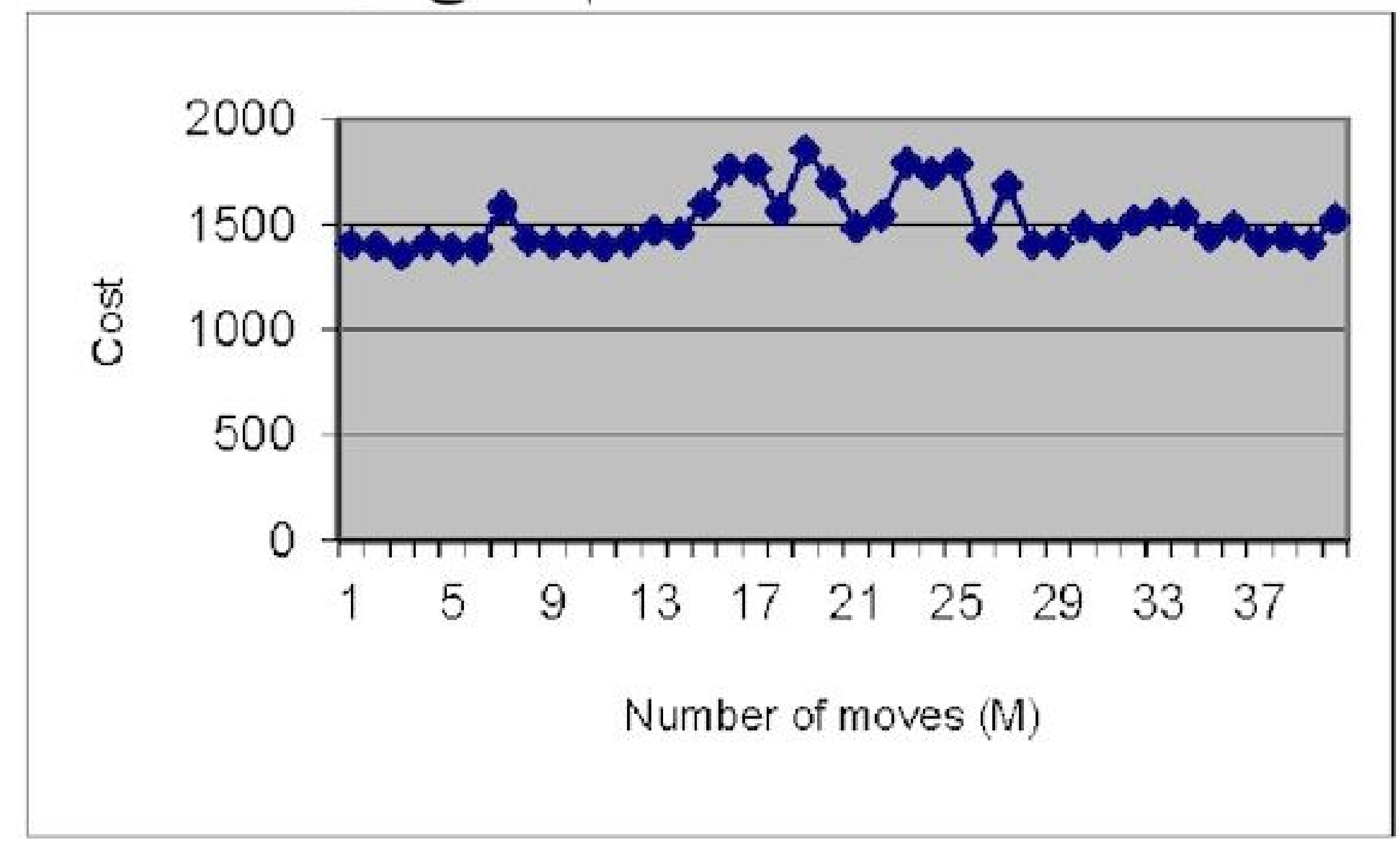
خلافاً لذلك، يتم الاحتفاظ بالبرنامج الحالي (VCS)

ج- تحديث معامل التحكم وعدد العمليات التكرارية (Update the annealing parameters and the number of iterations K)

الخطوة الرابعة: تحديث الحرارة وفقاً للقانون (Tk+1=F*Tk)

- وضع (K→K+1)

الخطوة الخامسة: إذا تحقق شرط الإيقاف، يوقف العمل ويُعلن أفضل برنامج ناتج مع عدد العمليات التكرارية. خلافاً لذلك، يتم الرجوع إلى الخطوة الثالثة.



الشكل 2.6. التطور الطوبولوجي لدالة الكلفة لشبكة الجي بي اس في مالطا.

التحقق من معامل التلدين

يُبين هذا الجزء النتائج التجريبية لتحليل معامل التحكم الخاصة بطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس كما هو مبين في الفصل 4. لقد تمَّ تركيز التحليل على الجدوى (Feasibility) والتي تعني بأن طريقة التلدين التجريبي تتمتع بالتحول السريع نحو تحقيق النتائج القريبة من المثالية.

الحرارة الأولية

تمَّ الحصول على درجة الحرارة البدائية والنهائية لشبكة الجي بي اس في مالطا من خلال مراقبة مراحل تطور دالة الكلفة خلال عدد من محاولات لإعادة ترتيب دورة البحث المحلية (Local Search Cycle) التي تنتج أكبر وأصغر تغيير محتمل في قيم دالة الكلفة. تمَّ وضع قيم الحرارة البدائية (Ti=1850) والحرارة النهائية (Tf=1355) إلى قيم مساوية لأكبر وأصغر قيم التغيرات بالاتجاه الصاعد (غير الصفر) (Non-Zero Uphill Steps) والتي تمَّ إيجادها سابقاً بتشكيل 41 محاولة تبادل عشوائي قبل البدء بتطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس ذاتها. عادةً، يتم اختيار عدد التبادلات من قبل المستخدم بالاعتماد على الحدس والخبرة، ويفضل أن تكون قريبة من عدد الأشعة المرصودة المكوَّنة للشبكة المراد تصميمها.

يتم توزيع قيم دالة الكلفة على عدد الانتقالات المتميزة (Distinct Moves) التي تكون فيها المسافات المتبادلة كبيرة مقارنةً مع كلفتها والعكس صحيح. إن تحديد القيمة البدائية لدرجة الحرارة كما هو موضح أعلاه يمكن أن يتم فقط بشكل مؤكد في الشبكات المساحية ذات الأبعاد الصغيرة أو في الحالات التي يتم فيها توزيع دالة الكلفة بشكل متماثل إلى حد كاف لمجموعة من البرامج المختلفة لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكات الجي بي اس.

إن تحديد قيمة الحرارة الأولية وفقاً للمفهوم الموضح أعلاه يعطي في معظم الحالات قيمة غير صحيحة، ولذلك، فإن احتمالات التحول (Transition Probabilities) لقبول كل الانتقالات (بالتزامن مع انخفاض درجة الحرارة) لا تتقاطع بشكل متقارب (بإمكانية غير مباشرة) بالنفاذ من أي برنامج إلى البرنامج المثالي. هذا الوضع غير المستقر (طوبولوجيا وعرة) (Bumpy Topology)،

خلافاً للتوزيع المتماثل (طوبولوجيا ناعمة) (Smooth Topology) لدالة الكلفة سوف يُسبّب لعمليات التبريد بالوقوع في مطب المثالية المحلية، أو تؤدي إلى تقارب غير جيد (Bad Convergence) لطريقة التلدين التجريبي نحو الجداول القريبة من المثالي.

تبدأ طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس عملها بدرجة حرارة أولية يتم اختيارها كيفياً (Arbitrary) (لتكن Ti=60) باستخدام حدس وخبرة المستخدم ويُفضل أن تكون قريبة من 2-1.5 مرات (1.5-2 Times) لعدد الأشعة المرصودة. يمكن أن تُجرى العمليات الحسابية لتحديد قيمة الحرارة الأولية على النحو التالي: يتم تنفيذ عشرة انتقالات من أجل تحديد الكسر الحسابي (نسبة القبول (Paccep=acceptance ratio=0.55)) للانتقالات المقبولة (maccep=55 moves) إلى العدد الإجمالي للانتقالات الحاصلة (mtotal =100 moves) والمنفذة عند قيمة حرارة أولية معطاة (Ti=60). لتحديد التغير في قيم التكلفة (Δ)، يتم حساب التكلفة الإجمالية للانتقالات المنفذة 2300 دقيقة (Ctotal=2300 minutes) إلى متوسط تلك الانتقالات التي أنتجت زيادة إيجابية في دالة الكلفة 53 دقيقة (mpost=53 minutes). بشكل أدق، تمَّ استخدام معادلة الطاقة (equation of energy) كما هو موضح في الجزء 4.2 للحصول على قيمة الحرارة الأولية كما يلي:

$$P = e^{-\Delta/T_i} \qquad (6.2)$$

Hence،

$$\ln(P) = \frac{-\Delta}{T_i} \quad \rightarrow \quad T_i = \frac{-\Delta}{\ln(P)} \qquad (6.3)$$

Then،

$$P_{accep} = \frac{m_{accep}}{m_{total}} \Rightarrow P_{accep} = \frac{55}{100} = 0.55$$

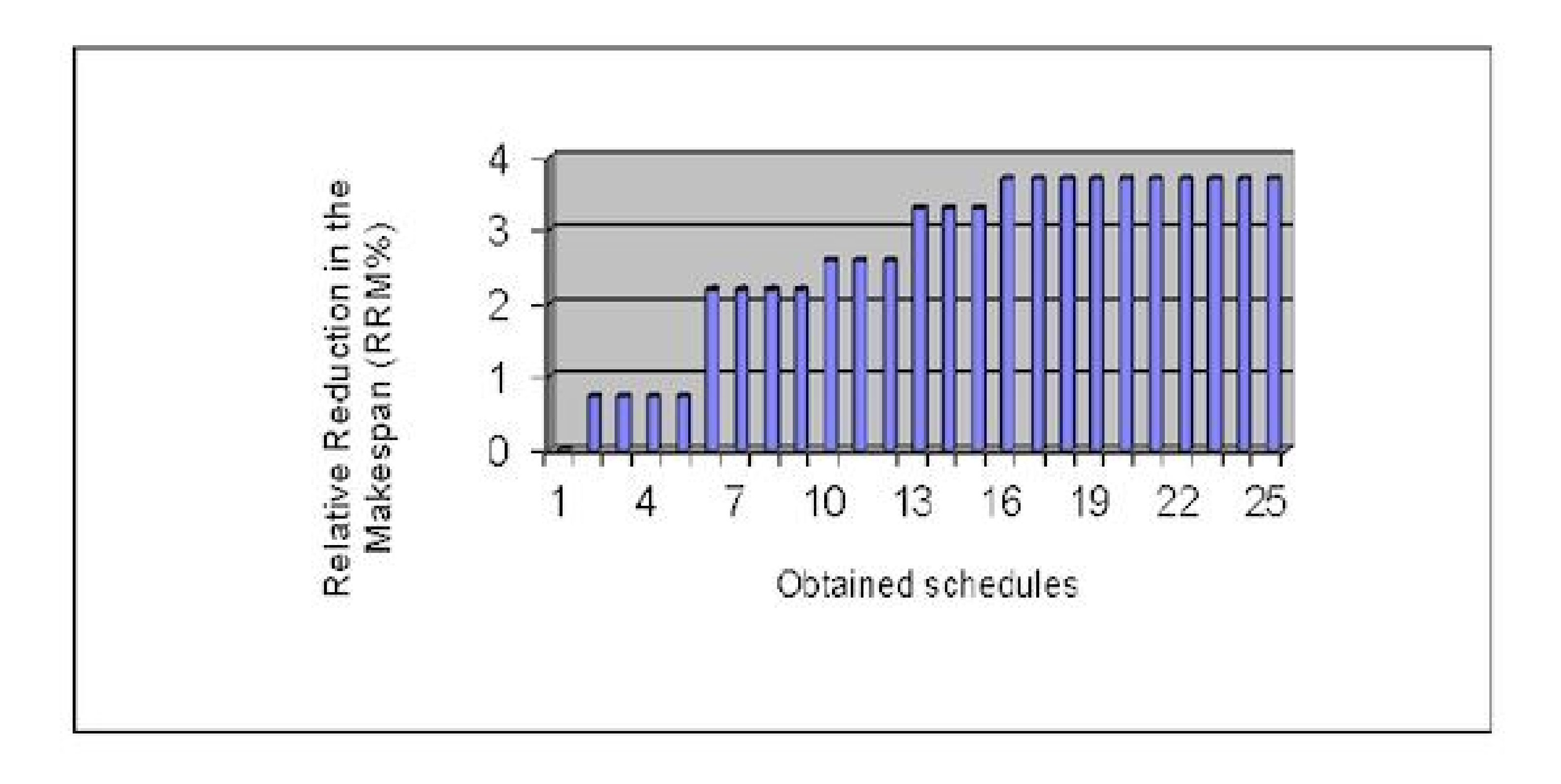
$$\Delta = \frac{C_{total}}{m_{post}} \rightarrow \Delta = \frac{2300}{53} = 43.4$$

$$T_i = \frac{-\Delta}{Ln(P)} \quad \Rightarrow T_i = \frac{-43.4}{Ln(0.55)} = \frac{-43.4}{-0.58} \approx 75 \quad \Rightarrow T_i = 75$$

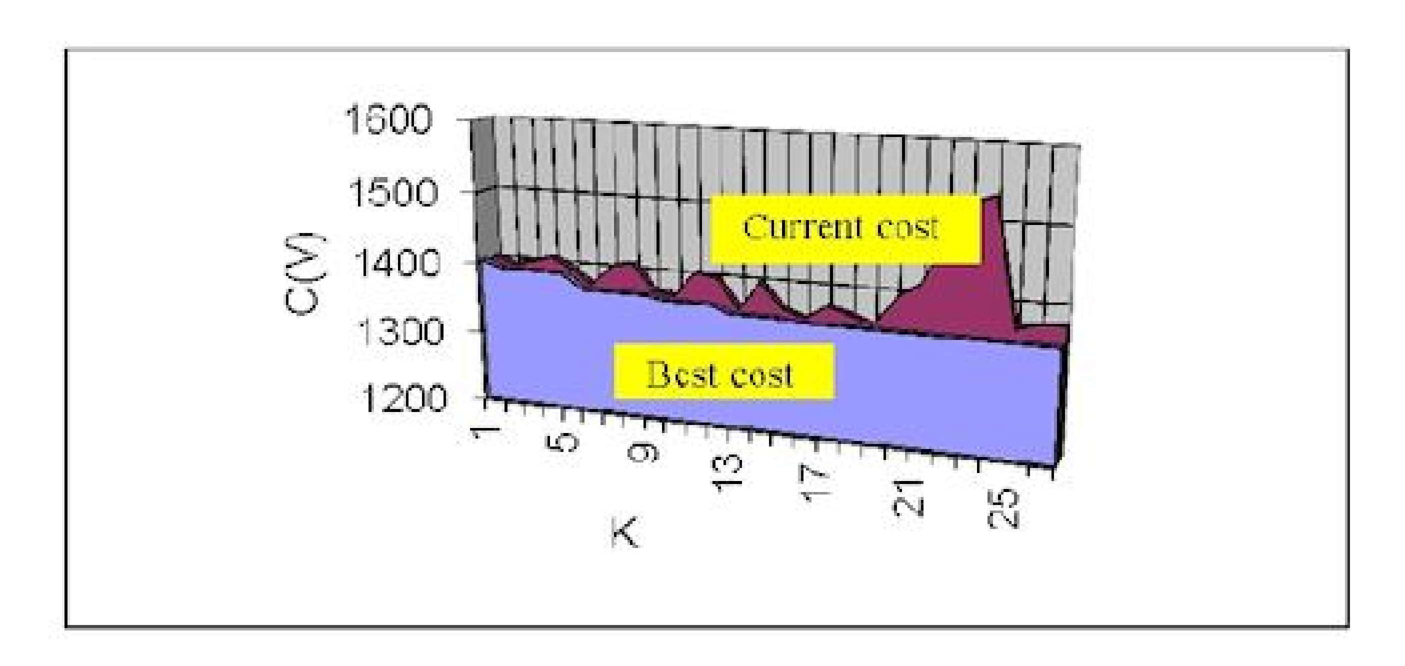
بعد أن يتم حساب قيمة الحرارة الأولية، تبدأ طريقة التلدين التجريبي للجي

بي اس عمليات التبريد بدرجة حرارة (Ti=75) تمَّ تخفيضها بشكل متدرج وفقاً لسلسلة ماركوف ذات الطول الثابت (Fixed Markov Chain) (L=I(V)=380) باستخدام المعادلة (Tk+1=F.Tk) وعامل التخفيض (0.85=F) حتى يتم الحصول على أفضل برنامج. تعتمد صيغة الإيقاف على التغييرات الحاصلة على البرنامج. إذا كانت الجداول العشرة الأخيرة متطابقة، بعدها يتم التصريح بأن عملية التصلب مجمدة، وهذا يحدث عندما تكون درجة حرارة الإيقاف مساوية إلى 6، أي تتوقف طريقة التلدين التجريبي عن العمل عند درجة حرارة التوقف (Tstop=6). تمَّ تبيان النتائج الحسابية للجداول التي تمَّ الحصول عليها في المراحل المختلفة لعملية التبريد باستخدام طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس. تمَّ تقييم هذه النتائج باستخدام مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية بالنسبة للبرنامج النهائي كما هو موضح تخطيطيا في الشكل 3.6.

مع استمرار تطبيق دورات التحسين فإن الانحراف عن البرنامج الأولي يصبح (0.72٪) بعد إجراء عملية تبادلية واحدة (1 swap)، وتصبح (2.2٪) بعد إجراء خمس عمليات تبادلية (5 swaps)، وتصبح (2.6٪) بعد إجراء 171 عملية تبادلية، و(3.3٪) بعد 230 عملية تبادلية. وأخيراً، فإن أفضل برنامج ناتج (VBFS) بكلفة (1355 دقيقة) يتوافق مع البرنامج الذي تمَّ فيه إجراء عمليات البحث المتتالي للتبادلات لـ 38 شعاع، وإن قيمة الانحراف للمقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية عن البرنامج الأولي هو (3.7٪) بعد (300) عملية تبادلية. يمكن النظر إلى أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه بطول سلسلة ماركوف (L =300) ، بينما يعرض الشكل 4.6 الرسم التخطيطي لتقارب طريقة التلدين التجريبي من هذا البرنامج. تمَّ أيضاً جدولة احتمالات القبول (Acceptance Probabilities) والقيم العددية للمتحول العشوائي (Generated Random Numbers) الناتجة في أثناء عملية التبريد في الجدول 4.6. في هذا البرنامج تمَّ استخدام الرموز التالية، (X) هو عدد المحاولات، (VCS) البرنامج الحالي، (VBFS) أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه، (θ) المتحول العشوائي الناتج، (P = e - Δ /T) دالة احتمال القبول، (RRM%) مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية (Makespan)، و(M) عدد الانتقالات (swap) (تبادل).



الشكل 3.6 التخفيض النسبي في الكلفة يقابل برامج العمل الناتجة عند درجة حرارة الإيقاف 6 (Tstop=6)



الشكل 4.6. جودة برنامجي العمل الحالي والأفضل الناتجين خلال دورات البحث للتبريد المتتالي بطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس المطبَّقة على شبكة الجي بي اس في مالطا.

من الواضح، إنه في الدرجات العليا للحرارة، يكون مبدأ سلوك الحبوب الخشنة (Coarse Grain Behaviour) لدالة الكلفة هو المناسب فقط لتطبيق دورات البحث. مع انخفاض درجة الحرارة، يتم فحص مبدأ سلوك الحبوب الناعمة (Finer Grain Behaviour) لدالة الكلفة، مما يؤدي في نهاية المطاف إلى الحد الأدنى المحلي أو الأعظمي (Local or Global Minimum) لدالة الكلفة. وهكذا، من المتوقع أنه في مكان ما بين هذين النقيضين يجب أن تكون هناك درجة حرارة مثالية ثابتة (Topt). لقد أظهرت التجارب الكثيرة التي تمَّ تطبيقها على شبكة مالطا بأن قيمة (Topt) قد تأثرت قليلاً بعدد الانتقالات المستخدمة لتحديد تلك القيمة. من ناحية أخرى، بقدر ما يتم إجراء المزيد من عمليات البحث المبنية على التلدين المعياري (Standard Annealing Search)

عند، أو بالقرب من درجة الحرارة المثالية (Topt)، بقدر ما تصبح دورات البحث أكثر نجاحاً. لقد تمَّ تطبيق الدراسة البحثية المذكورة أعلاه على شبكة الجي بي اس في مالطا كما في الشكل 6.6، إن احتمال وجود درجة الحرارة المثالية (Topt) يثير مسألة عملية أخرى:

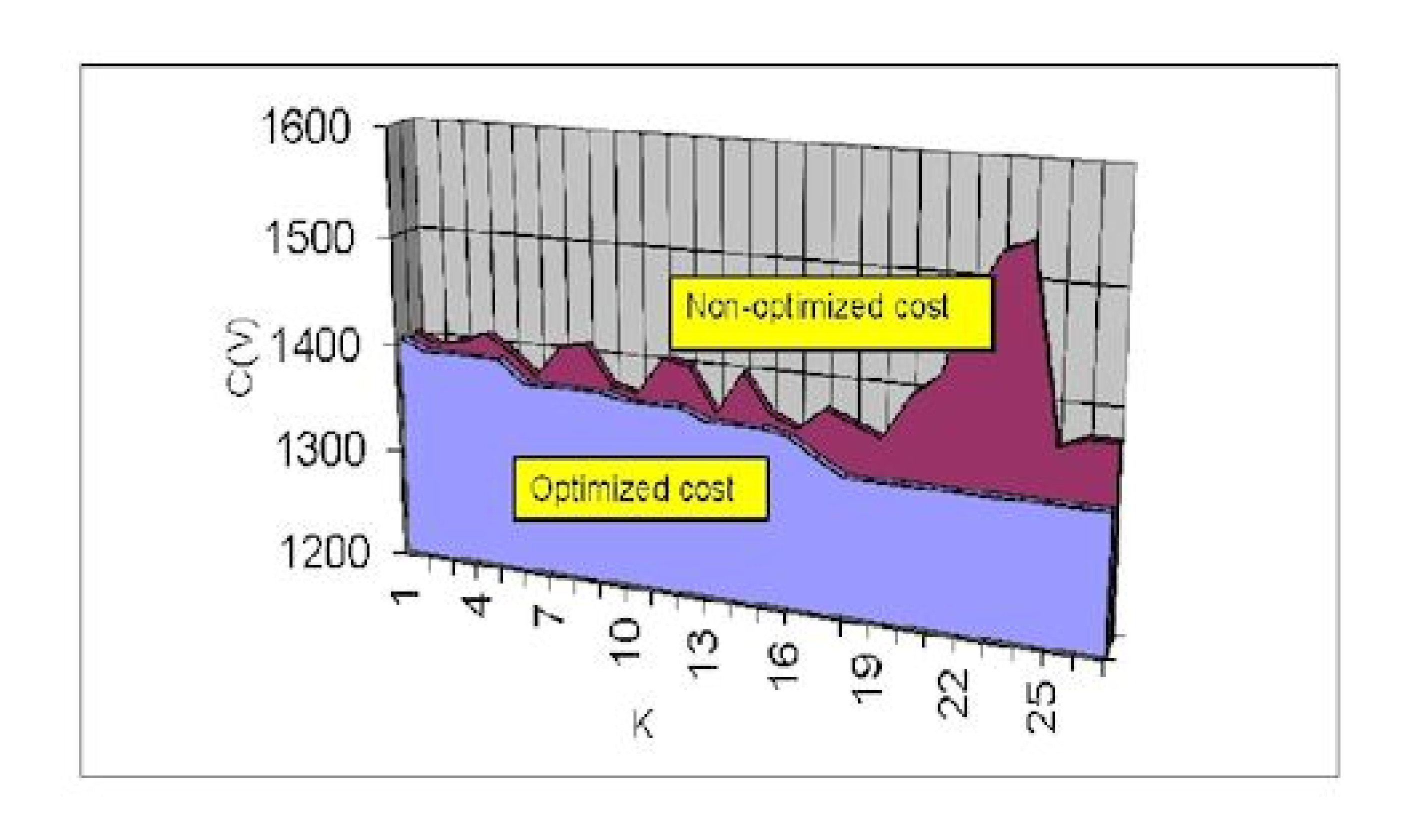
كيف بالإمكان أن يتم تحديد درجة الحرارة المثالية؟

لنفترض أنَّ المستخدم سوف يحتاج إلى حل العديد من الشبكات المماثلة على أساس منتظم، في هذه الحالة، يريد المستخدم إيجاد التبرير للقيام بعمل هذه المحاولات التي تمَّ تنفيذها في البداية على مجموعة من درجات الحرارة لتحديد القيمة المثلى. ضمن الدراسات المرجعية لطريقة التلدين التجريبي، تمَّ إجراء دراسات بحثية نظرية كثيرة ومن ثم اقترحت مجموعة من الأفكار لتحديد درجة الحرارة المثالية، ينظر: ((Kirkpatrick et al 1983) (Connolly, 1990)). على أي حال، إن الاختبارات المحدودة للتحقق من صحة هذه الأفكار لم تنجح بشكل موثوق في تقدير القيم المثالية العملية لدرجة الحرارة.

في هذا الكتاب، كان هناك شعور بأن المخطط الأكثر دقة المبني على تعظيم نسبة دورات البحث المنفذة بالقرب من درجة الحرارة المثالية (Topt) هو ضروري لكسب المزيد من التحسينات. في هذا المخطط لتحسين البرنامج الذي تمَّ الحصول عليه، تمَّ الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة لعدد من الانتقالات الجيدة (المختارة بالتسلسل) قبل أن يتم تخفضيها بحيث يحدث التبريد وفق سلسلة من القفزات. تستمر عملية التبريد حتى لا يتم قبول أي تغيير في دالة الكلفة عند درجة حرارة معينة. تتكون معامل التلدين المطلوبة لهذا المخطط من درجة الحرارة الأولية، عدد الانتقالات التي يتم فحصها عند كل درجة حرارة (M)، ومعدل التبريد (F) المستخدم لتخفيض درجة حرارة.

إن مخطط التلدين المقترح لتحديد درجة الحرارة المثالية والمشار إليها بالرمز (GPS-SA.OPT) يمكن صياغته على النحو التالي: باختيار مناسب لعدد من التبادلات التي يتم فحصها بالترتيب، يستطيع المستخدم التحكم بسهولة في زمن المعالجة لطريقة التلدين التجريبي. بعد ذلك، يتم التحكم في درجة الحرارة، ومن ثم:

- يتم اختيار أول انتقال المتجه نزولاً (Down-Hill Move).
- يتم رفض كافة الانتقالات المتتالية المتشابهة المتجهة نزولاً.
- يتم قبول الانتقال التالي الجديد المتجه نزولاً.
- يتم تكرار الخطوات المبيَّنة أعلاه حتى لا يكون هناك أي تحسن.
- يتم اختيار درجة الحرارة المثالية (Topt) التي عندها تمَّ الحصول على أفضل برنامج.
- يتم إيقاف عمليات التلدين بوضع درجة الحرارة المثالية مساوية إلى أفضل درجة حرارة (Tbest=Topt).



الشكل 5.6. جودة برنامجي العمل الحالي والأفضل الناتجين باستخدام مخطط مقياس التلدين المقترح لتحديد درجة الحرارة المثالية.

إن الهدف من مخطط التحسين هذا الحصول على درجة الحرارة الأكثر ملاءمة (Tbest) والتي من شأنها أن تكون مؤشراً موثوقاً لدرجة الحرارة المثالية. إن البرنامج القريب من المثالي ذات الكلفة (1325) الناتج بتطبيق المخطط المبيَّن أعلاه يمكن النظر تخطيطياً في الشكل 5.6. يمكن الحصول على المزيد من التحسين في دالة الكلفة بإضافة عمليات التحليل (Post-Analysis) التي أجريت بعد الانتهاء من عمل الطريقة التي تُشكل دورات البحث الفعَّالة المتجهة نزولاً على البرنامج القريب من المثالي والناتج باستخدام هذا المخطط الجديد. يتم حساب مقدار التحسين

في الأداء الناتج باستخدام المخطط المقترح لتحسين التبريد كما يلي:

$$G = 100 \times \left\{ \frac{V_{GPS\text{-}SA} - V_{GPS\text{-}SA.OPT}}{V_{GPS\text{-}SA.OPT}} \right\} = \frac{1355 - 1325}{1325} \times 100 = 2.3\% \quad (6.4)$$

حيث إن:

(VGPS-SA) البرنامج الناتج من تطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس (GPS-SA) وله القيمة (1355).

(VGPS-SA.OPT) البرنامج الناتج من تطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس ذات الحرارة المثالية (GPS-SA.OPT) وله القيمة (1325).

(G) مقدار الأداء الناتج باستخدام مخطط تحسين التبريد وله القيمة (2.3٪).

يُبين الشكل 5.6 إن مخطط التحسين يؤدي إلى تحسين بالكلفة مقداره (125) دقيقة حيث تنحرف عن البرنامج القريب من المثالي الناتج بطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس بقيمة تقريبية (2.3٪). يمتلك هذا المخطط ميزات عملية أخرى تؤمن المزيد من المرونة في تحقيق متطلبات الجي بي اس والطرق التقريبِّية. لتحقيق متطلبات الجي بي اس، إن التوزيع الأكثر تجانساً للأشعة بعد حصول التصلب يُمثل أفضل برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة الجي بي اس،

يستخدم مخطط التحسين المرونة المتأصلة في التلدين التجريبي لتحديد مجموعات مختلفة من التبادلات الابتدائية (Elementary Swaps) والمجالات المختلفة لدرجات الحرارة في أثناء عملية التبريد لتخفض الجهد الحسابي الكلي بشكل كبير والحصول على البرنامج الأقل كلفة. إن معامل التصلب الأخرى المستخدمة في الحصول على البرنامج القريب من المثالي، كما سيُبين لاحقاً في مناقشة الجزء التالي، هما (F =85.0) و(L =300). بعرض نتائج درجة الحرارة المبيَّنة في هذا الجزء، فإنه من الممكن تعيين قيم المعامل الأخرى التي تحدد معامل التبريد الأخرى لطريقة التلدين التجريبي. يعرض الجزء التالي نتائج تطبيق هذه الطريقة في حالات مختلفة وقد تمَّ مناقشة معامل التبريد على أساس هذه النتائج.

طول سلسلة ماركوف ومعدل التبريد

ترتبط قاعدة تخفيض درجة الحرارة (معدل التبريد) (F) وطول سلسلة ماركوف (L) بمفهوم التوازن (Eequilibrium). لايمكن عملياً تحقيق الطول اللانهائي لسلسلة ماركوف. ولذلك، هناك مفاضلة قسرية (Trade-Off) بين الانخفاضات الكبيرة في درجة الحرارة والأطوال الصغيرة لسلاسل ماركوف. وهكذا، من أجل الحفاظ على التوازن فإنه يتم اختيار التخفيضات الصغيرة من أجل تجنب السلاسل الطويلة، ولكن من الممكن أيضاً استخدام السلاسل الطويلة والتخفيضات الكبيرة في درجة الحرارة. في الدراسات المرجعية، تمَّ إجراء عدد كبير من التجارب لدراسة العلاقة بين هذين المعاملين والتي أدت لاختيار قيم معينة اعتماداً على طبيعة المسألة. تمَّ تطوير مقياس تبريد ثابت (Static Cooling Scale) وفقاً (Aarts and Van Laarhoven, 1985)، في حين تمَّ تطبيق مقياس تبريد ديناميكي وفقاً (Osborne and Gillett, 1991).

في هذه الدراسة، يعتمد طول سلسلة ماركوف بشكل رئيسي على حجم شبكة الجي بي اس المساحية. وتُعطى الصيغة المعتمدة للحصول على طول سلسلة مناسبة كما يلي:

$$L = n * M \quad (6.5)$$

حيث إن

(M) عدد الانتقالات المدروسة عند كل درجة حرارة.

(n) عدد معين (n=1, 2,...etc.,) يمكن اختياره كيفياً

في الواقع إن تخفيض درجة الحرارة هو مؤشر على توزيع ثابت لسلسلتي ماركوف المتتالتين. وهكذا، من أجل قيم صغيرة لـمعدل التبريد، فإن التوزيعات الثابتة لسلاسل ماركوف المتتالية تكونً قريبة من بعضها البعض. لذلك، بعد تخفيض درجة الحرارة من (Tk) إلى (Tk+1)، فإن عدد قليل من التحولات يكفي بالسماح للتوزيع الاحتمالي لبرامج تنظيم العمل الحقلي لشبكات الجي بي اس بالوصول إلى توزيع ثابت جديد. في هذه الحالة، إن تطبيق القيم الصغيرة

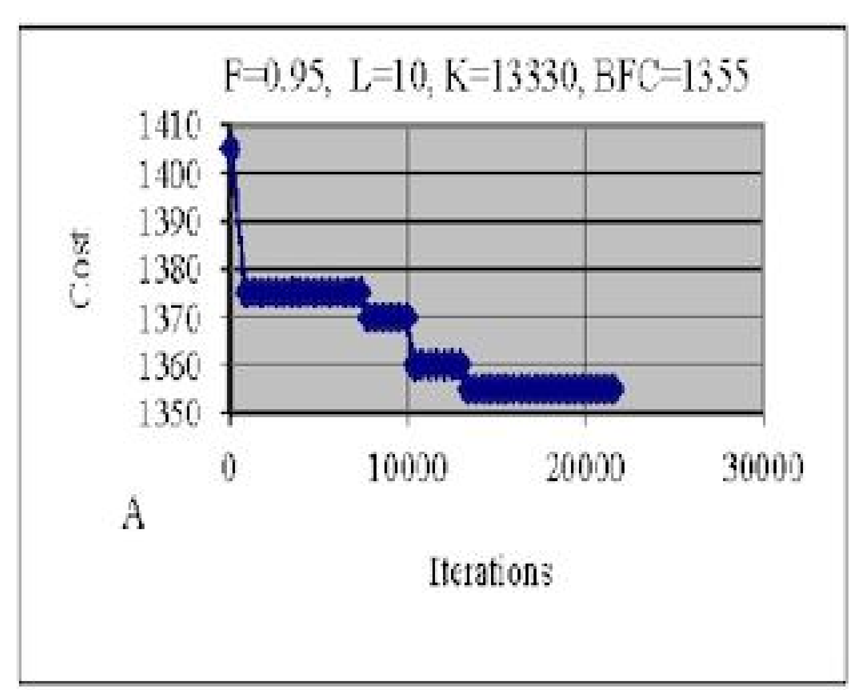
لـمعدل التبريد يتوافق مع التخفيض البطيء في درجة الحرارة والعكس صحيح. على أي حال، إن استخدام طول سلسلة ماركوف ومعدل التبريد يؤديان إلى التعقيد في الزمن الحسابي لعمل طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس والتي عادة ما تكون متعددة الحدود (Polynomial) بالنسبة لحجم الشبكة، أي تتناسب طرداً مع عدد الأشعة المرصودة في البرنامج الأولي. لذلك، وكما سيظهر من النتائج الحاصلة للقيم المتغيرة لكلٍ من طول سلسلة ماركوف ومعدل التبريد فإنه يمكن اعتبار طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس طريقة تقريبية متعددة الحدود زمنياً (Polynomial-Time Approximation Technique).

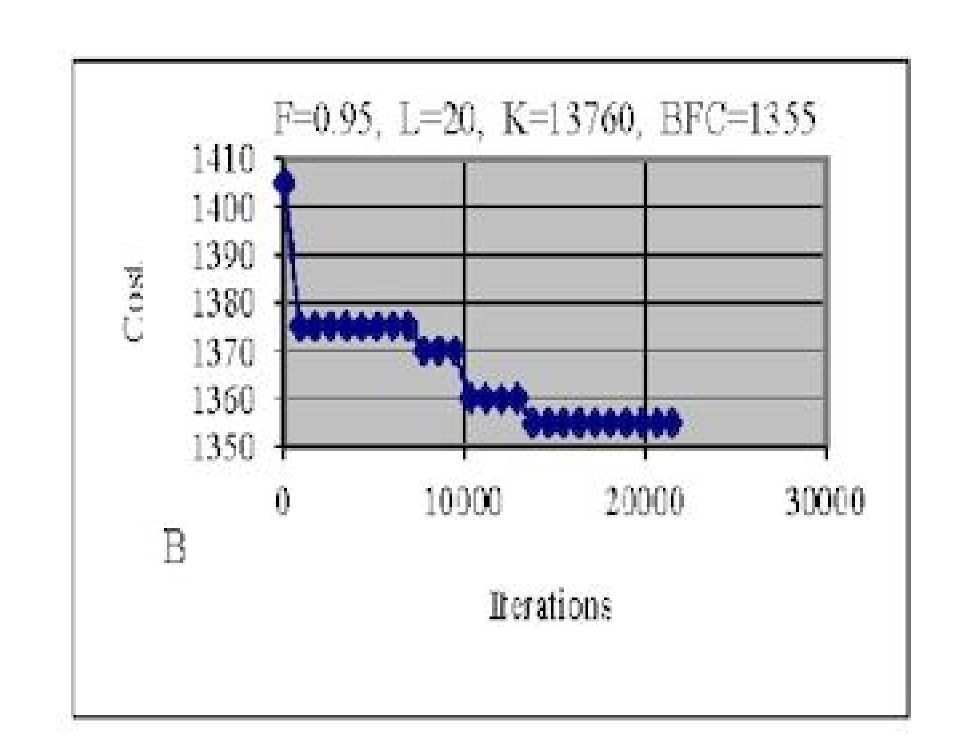
تمَّ في هذا الجزء استخدام مجموعات متنوعة من أطول سلاسل ماركوف ومعدلات التبريد (L's) و(F's) لتطوير مقياس تبريد هندسي، ولكن لم ينبثق من ذلك استراتيجية عملية واضحة. إن الرغبة في منع الانتقالات المتجهة صعوداً بشكل متزايد قد أدى لاستخدام مقياس التبريد الهندسي الذي يتصف بما يلي: مقياس ذات تبادل ثنائي ثابت، كل القفزات متجهة نزولاً، إن نسبة التكاليف المتتالية لتبادل الشعاع ثابتة، وإن درجة الحرارة تمَّ إحاطتها بعيداً عن الصفر. يوضح الشكل 6.6 بشكل بياني سلوك طريقة التلدين التجريبي لطريقة الجي بي اس على عدد من المحاولات على شبكة الجي بي اس لمالطا، حيث تتغير قيمة معدل التبريد من 0.95 إلى 0.70، وقيمة طول سلسلة ماركوف وفقاً للمعادلة 5.6. يظهر كل من هذه الأشكال المذكورة أعلاه قيمة مختلفة لـطول سلسلة ماركوف مع قيمة ثابتة لـمعدل التبريد المطلوبة للحصول على برامج تنظيم قريبة من المثالي. في الشكل A6.6، مثلًا، تبدأ طريقة التلدين التجريبي عملها بطول معطى (L=MA)، حيث MA=10، وتنجز مرحلة التبريد حتى يتم الحصول على برنامج تنظيم العمل الحقلي الذي لم يتغير على مدى 10 سلاسل متتالية (أي المحلية ذات الحد الأدنى). يتم في الأشكال (6.6B)، (6.6C)، و(6.6D) إعادة تطبيق كامل مراحل التبريد بأطوال مختلفة للسلسلة الأولية (LB=20)، (LC=40)، و(LD=80) على التوالي وقيمة ثابتة (F=0.95) حتى يتم تحقيق صيغة إيقاف عمل الطريقة.

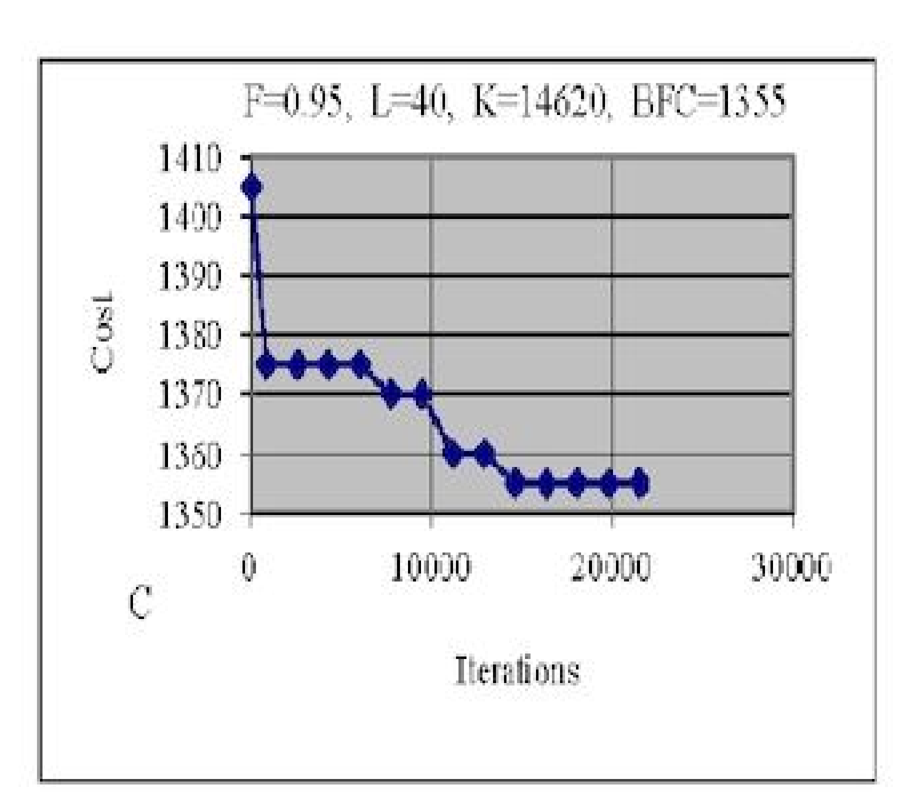
بتوسيع الدراسة المشار إليها أعلاه على العديد من الأمثلة، إن الملاحظات

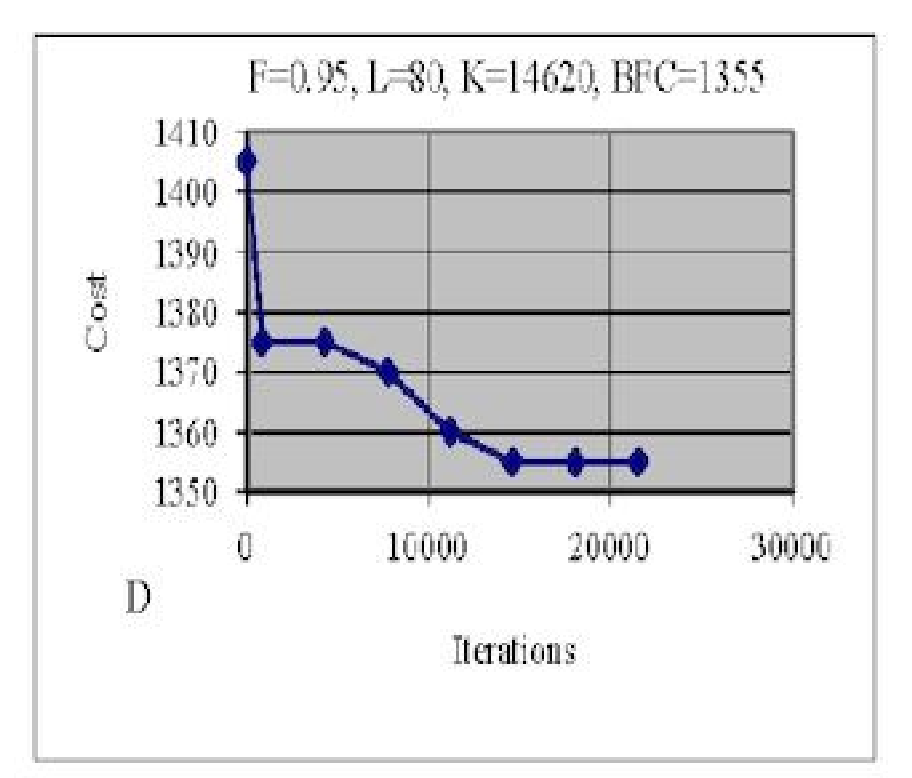
العملية الناتجة من قيمة ثابتة لمعدل التبريد (F=0.95) ثابتة، وطول سلسة ماركوف (L=80)تكشف عن أن تخفيض درجة الحرارة ليس عاملاً مهماً جداً طالما أن سلاسل ماركوف الطويلة بشكل كاف تسمح لكلفة البرنامج الأولي بالوصول إلى أفضل برنامج والتي هي قريبة من كلفة ثابتة. بإنقاص طول سلاسل ماركوف (تكن L=10) (10)، فإن الانخفاض في قيمة معدل التبريد يصبح أكثر حرجاً. باستخدام سلسلة ماركوف الثابتة ذاتها (تكن (L=20) (20، وإعطاء (F=0.70) فإن هذا يجعل عملية التبريد أبطأ بكثير من الحالة التي تكون فيها (F=0.95). ولكن في كلتا الحالتين يتم الحصول على نفس أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه (VBFS). إن القيم التجريبية الناتجة لهذه المعامل والتي تؤمن التلدين الحذر وتتحكم بسلوك طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس تكمن في المجال من (0.80) إلى (0.90)، وإن هذه القيم متوافقة مع الدراسات المرجعية (Kirkpatrick et al, 1983) و,Bonomi and Lutton) (1984. إن معامل التلدين الأكثر عمليةً لشبكة مالطا عندما تكون (Lmax=I)، أي أنه يساوي حجم أكبر مجموعة البرامج المجاورة (L=300) عندما (F=0.85) (Saleh and Dare, 1998b) .

تمَّ في هذا الجزء تشكيل طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس كتابع مكوَّن من سلسلة ماركوف ومعدل التبريد وتمَّ تحليل تقاربه ضمن هذا النطاق. يمكن الحصول على الشرح التفصيلي من الشكل 6.6، حيث تمَّ عرض الحلول لبرامج قريبة من المثالية بقيم مختلفة لأطوال سلاسل ماركوف ومعدلات التبريد (L's) و(F's). من هذه النتائج فإنه يمكن استخدام قيم طول سلسلة ماركوف ومعدل التبريد لفهم سلوك عملية التصلب لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس. أيضاً، من نتائج هذا التصلب، يمكن تحديد القيم الجيدة التي تؤدي إلى التقارب الصحيح لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس باتجاه برامج قريبة من المثالية خلال زمن حسابي مقبول. معظم هذه القيم على أي حال، تجعل طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس تتطلب جهوداً حسابية كبيرة. إن الرموز المستخدمة في الشكل 6.6 هي (BFC) الذي يعبر عن أفضل كلفة تمَّ الحصول عليها بطريقة التلدين التجريبي لعدد من العمليات التكرارية (K)، و(L) هو طول سلسلة ماركوف و(F) هو معدل التبريد.









الشكل 6.6. تطور كلفة رصد شبكة الجي بي اس في مالطا بتطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس بقيم متغيرة لـطول سلسلة ماركوف وقيمة ثابتة لـمعدل التبريد (F= 0.95).

عدد العمليات التكرارية

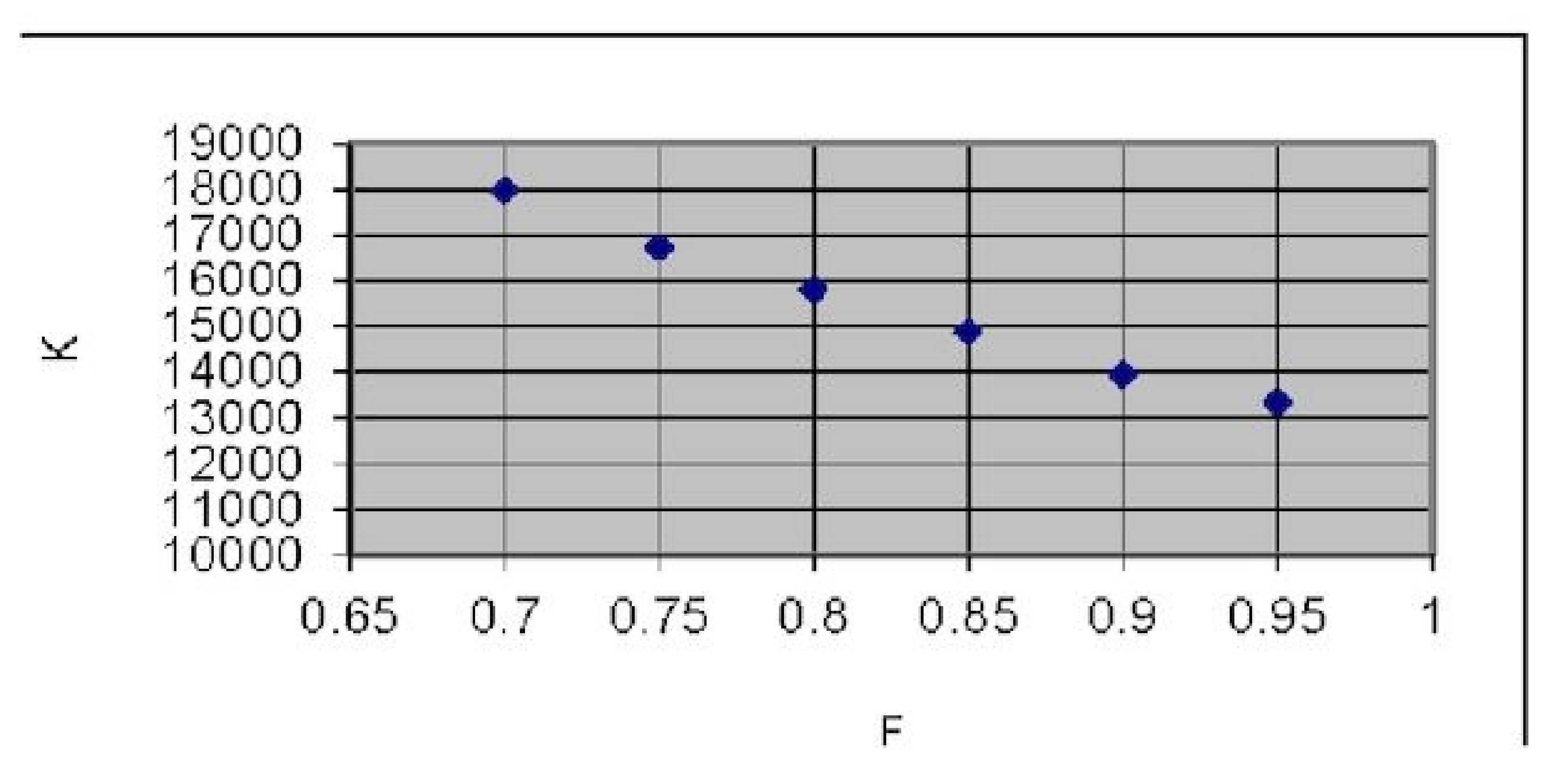
يعرض هذا الجزء الزمن الإجمالي لمعالجة بيانات طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس مع بعض نتائج التجارب التي أجريت على توزيع الأزمنة الحسابية حتى الحصول على البرنامج الأقل كلفة. يعرض الجزء 5.4 عمليات الجهد الحسابي للحصول على شبكة الجي بي اس المساحية وفقاً لمعامل التبريد. تتطلب كل عملية تكرارية لعملية التبريد الخطوات الأربع التالية: أولاً، اضطراب أو خلط عملية البحث لإنتاج برنامج جديد (عشوائيا أو بشكل ترتيبي). ثانياً، يجب أن يُحسب الفرق في دالة الكلفة. ثالثاً، يجب أن يتم اتخاذ قرار فيما إذا كان سيتم اعتماد البرنامج الجديد. رابعاً، يتم تحديث أساليب ودورات البحث في حال قبول البرنامج الجديد.

Cooling Rate (F)	Number of Iterations (K)	Execution Time ET (Second)
0.95	13330	381
0.90	13950	398
0.85	14880	425
0.80	15810	452
0.75	16740	478
0.70	17980	514

الجدول 1.6 عدد العمليات التكرارية وزمن التشغيل باستخدام طول ثابت لسلسلة ماركوف (L=10)

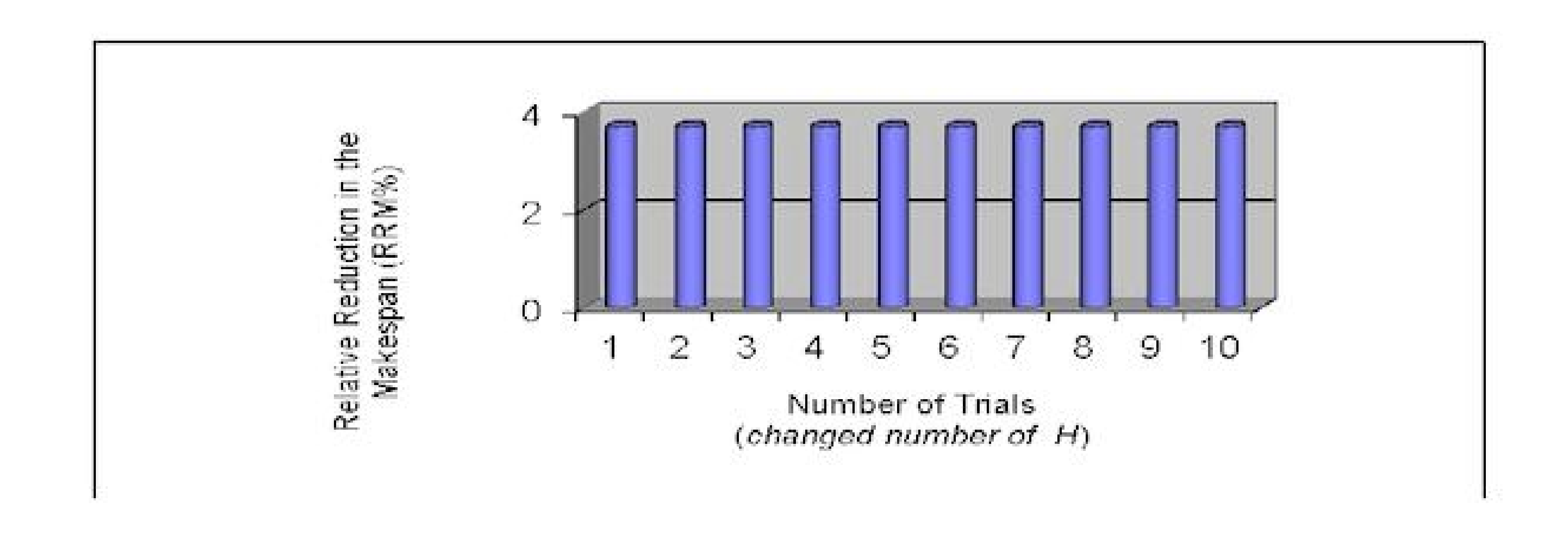
وقيمة متغيرة لمعدل التبريد.

إن القسم الأكثر استهلاكاً للزمن خلال العملية التكرارية هو حساب دالة الكلفة. لحسن الحظ، بالنسبة لشبكة الجي بي اس المساحية، والتي هي مسألة ذات طبيعة ثابتة (استاتكية وليست ديناميكية)، إن العمل الحسابي متماثل في كل عملية تكرارية، ولكن كلما أصبحت أبعاد الشبكات أكبر، فإن الأزمنة الحسابية الإجمالية تزداد. إن التعقيد في الزمن الحسابي لهذه الطريقة متناسب مع عدد الأشعة في برنامج تنظيم العمل الحقلي. يُبين الجدول 1.6 عدد العمليات التكرارية مع الزمن الحسابي المطلوب حتى التوصل إلى البرنامج القريب من المثالية لمالطا باستخدام قيمة ثابتة لطول سلسلة ماركوف وقيمٍ مختلفة لمعدل التبريد، وهذا موضح بيانياً في الشكل 7.6.



الشكل 7.6 معامل التبريد يقابل عدد العمليات التكرارية باستخدام بيانات الجدول 7.6.

يوضح هذا الشكل تخطيطياً العلاقة بين معدل التبريد وعدد العمليات التكرارية لشبكة الجي بي اس في مالطا بتطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس لعدد من المحاولات، بقيمة متغيرة لـمعدل التبريد من 0.95 وحتى 0.70 وطول ثابت لـسلسلة ماركوف (L=10). تمثل كل نقطة في هذا الشكل عدداً كبيراً من البرامج لرصد الشبكة الناتجة باستخدام قيمة ثابتة لـطول سلسلة ماركوف وقيم مختلفة لـمعدل التبريد. على أي حال، إن معظم هذه القيم تجعل عملية التبريد الإحصائية تتطلب جهوداً حسابية كبيرة. إن الأزمنة الحسابية لإيجاد أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه (VBFS) بقيمة (1355) دقيقة باستخدام طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس هي بزمن تقريبي (425) ثانية وعدد العمليات التكرارية (14880).



الشكل 8.6 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات لقيمة متغيرة لـعدد البرامج المتماثلة المتتالية (H) في المحور الأفقي.

تمَّ تحقيق صيغة الإيقاف عندما لم تتغير أفضل قيمة لدالة الكلفة بالنسبة لعشرة برامج متماثلة متتالية (H=10) وهذا مبين في الشكل 4.6. إن قيمة مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية (RRM) للبرامج الناتجة لم تتأثر إطلاقاً بزيادة عدد البرامج المتماثلة المتتالية (H) التي تتراوح قيمتها من (10) إلى (100) كما هو مبين في الجدول 8.6 وتخطيطياً في الشكل 8.6. يمكن الاستنتاج من ذلك أن صيغة الإيقاف المبنية على عدد محدد مسبقاً من البرامج المتماثلة المتتالية (H) يكون موثوقاً بها في تلك الحالات التي تكون فيها طول السلسلة كبيرة جداً. وهذا له ميزة واضحة لربط صيغة الإيقاف بتغييرات قيمة البرامج عند أكبر قيمة للجهد الحسابي.

بالخلاصة، تمَّ عرض الإطار التحليلي العام لعمل طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس. تمَّ التحقيق من معامل التبريد التي تمَّ بموجبها الحصول على البرامج القريبة من المثالية لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة الجي بي اس في مالطا ضمن زمن حسابي متعدد الحدود (Polynomial Time). بالنسبة لهذه الشبكة، باعتبارها عملية تحسين تجميعي صعبة، فإن مخطط مقياس تحسين التبريد الجديد المبني على التشكيل الإنشائي لاختيار متتابع (Sequential Selection Structure) لمجموعة البرامج المجاورة قد حقق نتائج جيدة. في هذا المخطط، إن سرعة أساليب ودورات البحث لاتعتمد على تابع احتمال القبول وبالتالي لاتعتمد على معامل تحكم درجة الحرارة. لقد تبين إن هذا المخطط فعَّال بالنسبة لتصميم شبكة مالطا. تمَّ قياس جودة البرامج مع إعطاء التحليل المفصل الذي يأخذ بعين الاعتبار كلٍ من متطلبات الجي بي اس والطرق التقريبيِّة. وبالنتيجة، إن طريقة التلدين التجريبي تحتاج إلى زمن حسابي كبير، أي تعطي نتائج غير مستقرة بأعلى زمن حسابي.

4.6 التطبيق العملي لطريقة البحث المحظور في تصميم شبكة الجي بي اس في مالطا

لكي يتم تطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس على شبكة الجي بي اس في مالطا، فإنه يجب تحديد العديد من معامل الحظر. هذه المعامل، والتي تمَّ عرضها في الجزء 5.4 تتضمن طول القائمة المرشحة، ومدة الحظر وعدد العمليات التكرارية.

النهج العملي لطريقة البحث المحظور للجي بي اس

تمَّ تبيان الخطوات التفصيلية لعمل طريقة البحث المحظور للجي بي اس في الجزء 5.4.3، ولكن ملخص هذه الطريقة تمَّ سرده على النحو التالي:

آ- التحضيرات الأولية

الخطوة الأولى: إنتاج البرنامج الأولي ذات الكلفة ((VINT) C) يدوياً باستخدام مصفوفة الكلفة الفعلية.

الخطوة الثانية: التحضير الأولي لقيم معامل الحظر:

تعيين القائمة المرشحة (CL)

تعيين مدة الحظر (TT)

تعيين قيمة عداد العمليات التكرارية (KK)

تمثل هذه الخطوة التطبيق المعياري لطريقة البحث المحظور للجي بي اس باستخدام مركبات الذاكرة قصيرة الأمد.

ب- استراتيجية اختيار وقبول الجداول المجاورة الناتجة (Selection strategy and acceptance of generated neighbours)

الخطوة الثالثة: اختيار أفضل انتقال (غير محظور)

إنتاج مجموعة ((VINT) I) البرامج المجاورة (V1}،..،{Vn) للبرنامج الأولي.

إنشاء القائمة المرشحة للبرنامج الأولي باستخدام مجموعة البرامج المجاورة له.

اختيار أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه (VBFS) في القائمة المرشحة كبرنامج حالي (VCS) واستبدال البرنامج الأولي بالبرنامج الحالي.

ج- تحديث عناصر التحكم وعدد العمليات التكرارية المطلوبة

الخطوة الرابعة: إذا كان البرنامج الحالي أحسن من أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه (VBFS) حتى الآن.

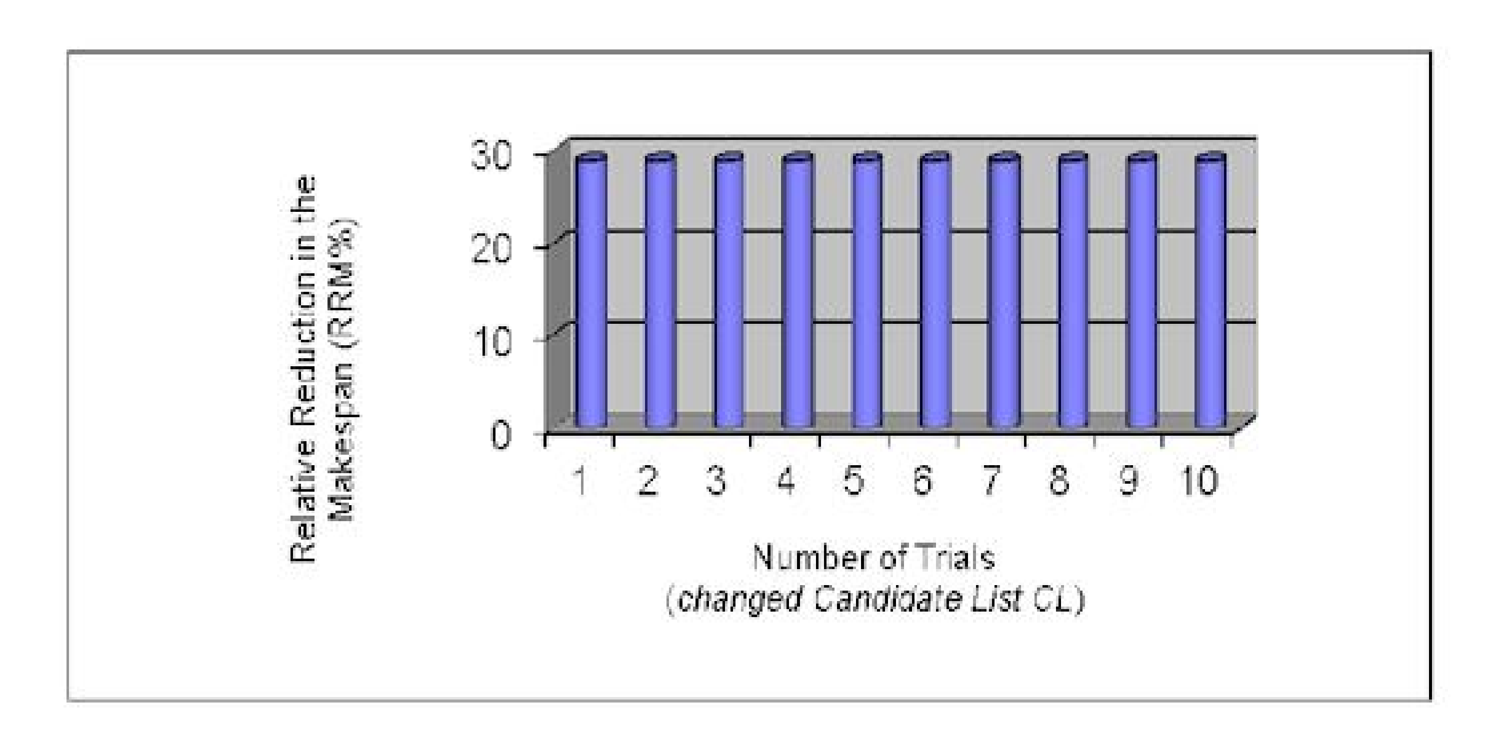
عندها يتم تحديث هذا البرنامج الأخير، وتخزين ميزاته في لائحة الحظر.

تعيين (K→K+1)

الخطوة الخامسة: إذا تمَّ تحقيق شرط الإيقاف، عندها يوقف عمل الطريقة ويتم الإعلان عن أفضل برنامج ناتج وبنية لائحة الحظر. خلافاً لذلك، يتم الرجوع إلى الخطوة الثالثة.

التحقق من فعَّالية معامل الحظر

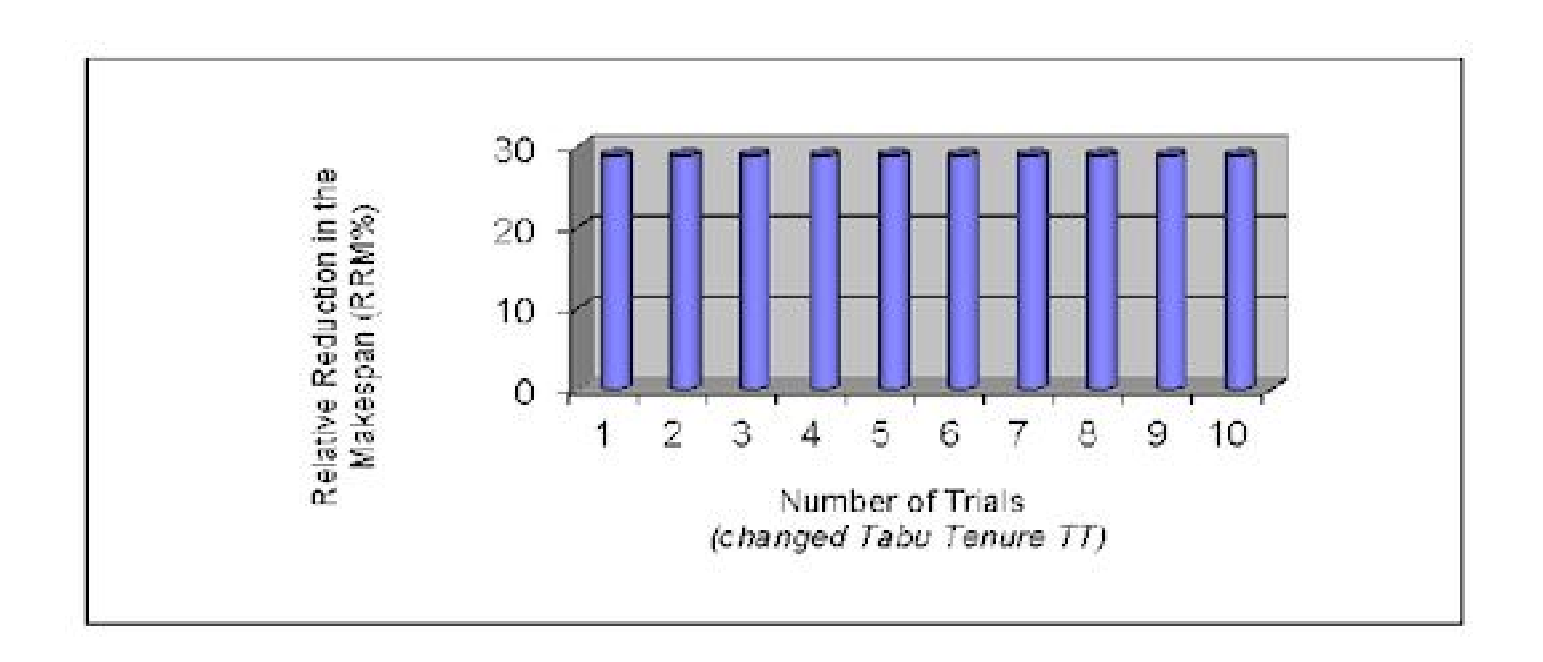
يعرض هذا الجزء النتائج الحسابية الحاصلة من تطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس على شبكة الجي بي اس في مالطا باستخدام معامل الحظر المختلفة. إن الهدف من هذا التحقق التحكم بسلوك عمل هذه الطريقة المطوَّرة تحت تأثير تغيرات معامل الحظر التي تمَّ توصيفها في الجزء 2.4.5. إن لائحة الحظر عبارة عن بنية الذاكرة التي تمنع الانتقالات التي تمَّ تبادلها مؤخراً من أن يتم تبادلها مرة أخرى. من أجل تجنب حدوث عملية دوران البحث غير المجدي (Cycling) على نحو أكثر فعَّالية، فإن أبعاد لائحة الحظر تتكون من عدد الأشعة في برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة. إن هذه الأبعاد الثابتة للائحة مناسب جداً للطبيعة الستاتيكية لشبكة الجي بي اس. بالنسبة لشبكة الجي بي اس في مالطا فإن أبعاد لائحة الحظر هو (TL 38*38) حيث عدد الأشعة المرصودة هو (38). سيتم استخدام مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية (RRM) لتقييم هذه المعامل بالنسبة للجهد الحسابي وجودة أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه (VBFS).



الشكل 9.6 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات لقيمة متغيرة للقائمة المرشحة في المحور الأفقي.

القائمة المرشحة

إن القائمة المرشحة المعتمدة، والتي تناسب متطلبات المساحة الفضائية، هي استاتيكية "ذات طول ثابت" ويتم تحديدها من قبل المستخدم في بداية تشغيل البرمجية الحاسوبية (وذلك بالاعتماد على أبعاد الشبكة وخبرة المستخدم). بتثبيت البعد الستاتيكي للقائمة، تمَّ تحسين فعَّالية وسرعة دورة البحث لإيجاد البرنامج الأقل كلفة.للتحقق من سلوك عمل هذه الطريقة كدالة للقائمة المرشحة، تمَّ تثبيت قيم كلٍ من مدة الحظر وعدد العمليات التكرارية. بزيادة قيمة القائمة المرشحة من 5 إلى 14، فإن جودة البرامج الناتجة والقريبة من المثالي تبدو أنها لم تتأثر إطلاقاً. يبدو أنَّ السبب الرئيسي لهذا السلوك هو فعَّالية استراتيجية القائمة المرشحة، والتي تتجاهل في كل دورة لتشكيل عمليات البحث المحظور معظم الانتقالات المسموح بها وتحتفظ فقط بتلك التي أدت إلى برامج جيدة لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة.



الشكل 10.6 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات

لقيمة متغيرة لـمدة الحظر في المحور الأفقي.

مدة الحظر

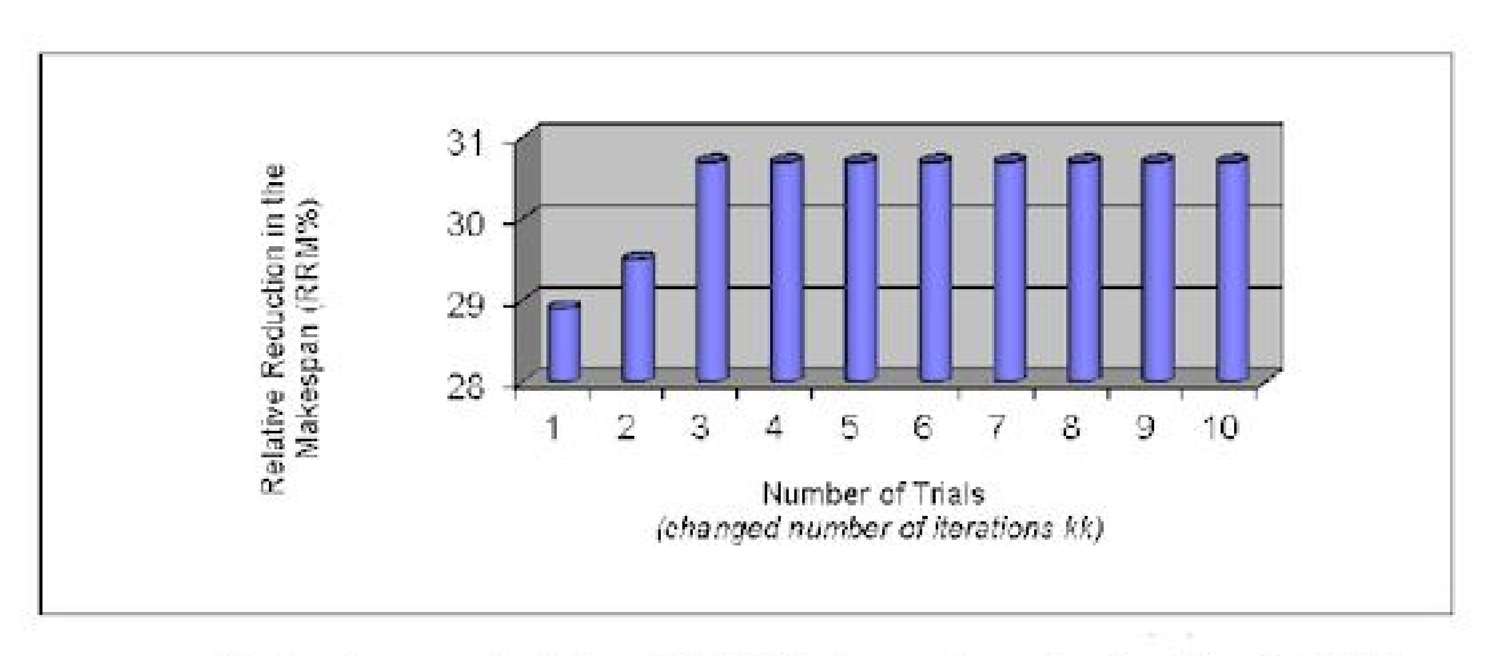
إن مدة حظر معامل مهم آخر يتم تحديدها من قبل المستخدم، كما تمَّ مناقشته في مرحلة سابقة، لأنها تحدد كم هي مقيدة دورات البحث بالنسبة لمجموعة البرامج المجاورة. إذا كانت قيمة هذه المدة صغيرة جداً، فإن حالة دوران البحث غير المجدي قد تحدث في أثناء عمل الطريقة، بينما إذا كانت كبيرة جداً فإن التبادلات المهمة قد تكون محظورة وهذا يؤدي إلى استكشاف برامج أقل جودة وإلى إنتاج عدد أكبر من العمليات التكرارية للحصول على البرنامج الأقل كلفة لتنظيم العمل الحقلي لتصميم

الشبكة. يبدو أنَّ أفضل قيمة لهذه المدة قد تكون كتابع متزايد مع حجم الشبكة. على أي حال، إنه من الصعب إعطاء قاعدة عامة لتحديد أفضل قيمة لمدة الحظر. تمَّ إجراء التجارب لتحديد كيف أنَّ هذه القيمة مرتبطة بحجم الشبكة. تبين هذه الملاحظات أنَّ حالة دوران البحث غير المجدي لا تحدث دائما مع قيمة صغيرة لمدة الحظر، وإن هذه الظاهرة في توافق مع (Taillard, 1991).

بالنسبة لشبكة مالطا، إنه بقيم أصغر، مثلاً 3، كانت كافية ولم يلاحظ حدوث أي حالة دوران البحث غير المجدي. إن التبرير البديهي لهذه النتيجة هو في الواقع أنَّ القيم الصغرى لمدة الحظر تمكِّن من إجراء الفحص الأكثر عناية لمجال قيمة دالة الكلفة (شريطة أنَّ لا يحدث الدوران غير المجدي للبحث). يبين الشكل 10.6 إن جودة البرامج الناتجة تبدو غير متأثرة إطلاقاً بتثبيت كل من قائمة الحظر وعدد العمليات التكرارية، وزيادة مدة الحظر بقيمٍ تتراوح من 3 إلى 12 في المحور الأفقي.

عدد العمليات التكرارية

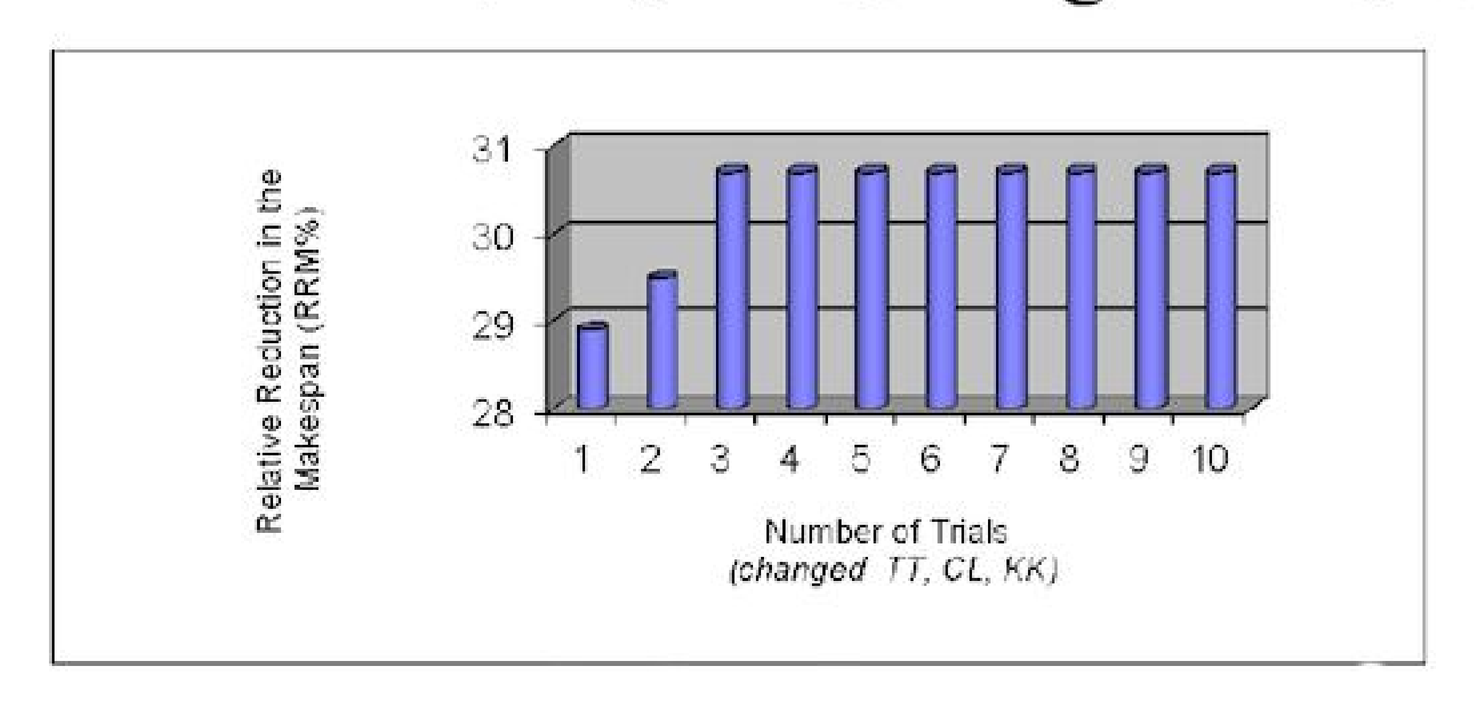
يتم في هذا الجزء عرض زمن التشغيل الفعلي لعمل هذه الطريقة الذي يستثني زمن قراءة المدخلات والإبلاغ عن المخرجات. يمكن النظر في الجزء 5.5 إلى مراحل الجهد الحسابي لشبكة الجي بي اس المساحية وفقاً لاستراتيجية الحظر. يوضح الشكل 11.6 سلوك مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية الناتج عن استخدام طريقة البحث المحظور للجي بي اس وفقاً لتغير عدد العمليات التكرارية. تتراوح قيمة هذا المقياس من 28.9 إلى 30.7٪ بالنسبة لطريقة البحث المحظور للجي بي اس والتي يمكن ملاحظتها مع ازدياد عدد العمليات التكرارية، ولكن بعد ذلك تبقى ثابتة.



الشكل 11.6 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات لقيمة متغيرة للعمليات التكرارية في المحور الأفقي.

تأثير معامل الحظر مجتمعة

كما نوقش في الأجزاء السابقة، تمَّ تقييم تأثير معامل الحظر بشكل إفرادي حتى لم يعد بالإمكان ملاحظة أي تحسين. في بعض الحالات، قد يكون من المرغوب فيه توسيع أساليب ودورات البحث من خلال تغيير معامل الحظر سوية في الوقت ذاته. إن الهدف الأكبر من ذلك الاستمرار في تحفيز دورات البحث لاكتشاف برامج جديدة بجودة عالية من خلال تجميع كافة تأثيرات معامل الحظر معاً.



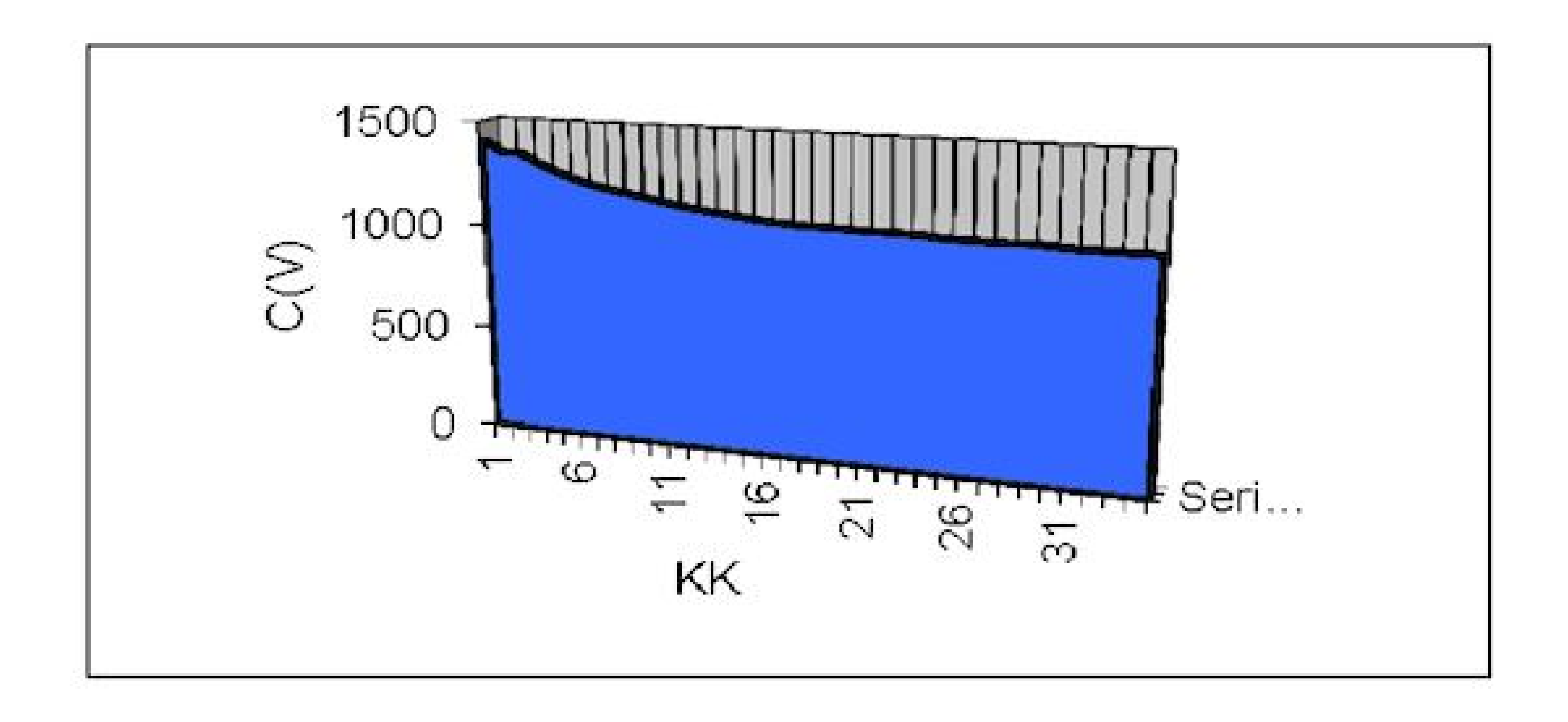
الشكل 12.6 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات لقيمة متغيرة لكافة معامل الحظر

(مدة الحظر، القائمة المرشحة، العمليات التكرارية) في المحور الأفقي.

يمكن تحقيق ذلك بزيادة عدد العمليات التكرارية أو بتغيير وضعية القائمة المرشحة ومدة الحظر بالمقدار نفسه لزمن المعالجة. باستخدام هذه المعايير في هذا الجزء، يوضح الشكل 12.6 القيمة المكتسبة في الأداء التي تمَّ تحقيقها بتطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس وفقاً لتغيير معامل الحظر. تتراوح أفضل القيم لمقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية من 28.9 إلى 30.7٪ التي تمَّ الحصول عليها بالنسبة لشبكة لجي بي اس في مالطا.

بالنسبة لشبكة ذات أبعاد كبيرة، كما في شبكة مالطا التي تحتوي مجموعة البرامج المجاورة الخاصة بها على العديد من الأشعة وهذا يمكن أن يكون مُكلفاً للدراسة، إن الطبيعة التوسعية (aggressive) للبحث المحظور يجعلها مهمة جداً بعزل مجموعة فرعية مرشحة من مجموعة البرامج المجاورة ودراستها بعناية بدلاً من كامل المجموعة. إن قيم معامل الحظر المختارة لأفضل برنامج

ناتج (VBFS) بكلفة 1075 دقيقة هي 10 للقائمة المرشحة ، و3 لمدة الحظر، و(TL 38*38) للائحة الحظر، و28 للعمليات التكرارية.



الشكل 13.6: الشكل التخطيطي لتطور كلفة أفضل برنامج عمل ناتج يقابل عدد العمليات التكرارية لطريقة البحث المحظور للجي بي اس المطبَّقة على شبكة الجي بي اس في مالطا.

إن أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي تمَّ الحصول عليها بتطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس ويمكن إيجادها في الشكل 13.6. إن أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي ناتج من تطبيق الطرق التقريبيِّة لا يفي بقيود الجي بي اس. لتعديل أفضل برنامج بحيث يعمل على حدٍ سواء وفقاً لمتطلبات الجي بي اس والطرق التقريبيِّة، فإنه غير مسموح بإجراء التبادل بين أشعة مرصودة بجهازين استقبال وأشعة مرصودة بثلاثة أجهزة. إن الكلفة الناتجة من تعديل أفضل برنامج ناتج هي (1210) دقيقة. بالخلاصة، تمَّ تطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس باستخدام قيمٍ مختلفة لمعامل الحظر لكي يتم تقييم نتائج الحل. تُبين الملاحظات التجريبية إنَّ طريقة البحث المحظور للجي بي اس قوية جداً. يبدو أنَّ جودة البرامج الناتجة لاتتأثر كثيراً بالخيارات الأولية المختلفة لمعامل الحظر.

5.6 المقارنة بين طريقتي البحث المحظور والتلدين التجريبي في تصميم شبكة الجي بي اس في مالطا

كما جاء في الدراسات المرجعية للطرق التقريبيِّة، يتم الحصول على مقاييس فعَّالية الطريقة التقريبيِّة بمقارنة أدائها بالنسبة لجودة الحل والجهد الحسابي. إن الخصائص العددية النهائية للطرق التقريبيِّة المطوَّرة (الأداء، وسرعة التقارب

باتجاه الحل المثالي وعدد العمليات التكرارية) تعتمد على كلٍ من العناصر الإنشائية ومعامل التحكم. تتناول النتائج الحسابية السابقة طريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور التقريبيتين للجي بي اس اللتين تمَّ تطبيقهما على البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة مالطا. إن معامل التحكم الأساسية لكلٍ من الطريقتين يمكن إيجادهما في الجدول 2.6. تمَّ التحقق من سلوكهما بتغير معامل التحكم الخاصة بهما وخلاصة النتائج الحسابية يمكن النظر إليها في الجدول 3.6. وهذا يعطي مؤشراً على مدى سرعة كل من هذه الطرق المطوَّرة في إيجاد أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة.

GPS-SA technique	**GPS-TS technique**
Initial temperature **Ti: 75**	Tabu List **TL:38*38**
Temperature decrement factor **F:0.85**	Tabu Tenure **TT:3**
Markov chain length **L:300**	Candidate Length **CL:10**
Number of Iteration **K: 14880**	Number of Iteration **KK: 28**

الجدول 2.6 معامل التحكم للطرق التقريبيِّة للجي بي اس المطبَّقة على شبكة الجي بي اس في مالطا.

إنَّ الأخذ بالحسبان هذه النتائج الحاصلة، تتفوق طريقة البحث المحظور للجي بي اس على طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس بالنسبة لجودة أفضل برنامج ناتج (VBFS) وبعدد العمليات التكرارية. وبالإشارة إلى أفضل برنامج ناتج، يبين متوسط الانحراف (Average Deviation) عن البرنامج الأولي الاختلافات الجدير بملاحظاتها. أعطت طريقة البحث المحظور للجي بي اس نتائج أفضل بكثير، أي أصغر الأزمنة الحسابية مع زيادة مقياس التخفيض النسبي

في الكلفة الإجمالية (RRM) من 6 إلى 30,7٪ كما هو موضح بيانياً في الشكل 14.6. إن السبب الرئيسي لهذا الأداء العالي الجودة لطريقة البحث المحظور للجي بي اس يعود إلى البنية الخاصة لتشكيل مجموعة البرامج المجاورة وإلى استراتيجية أساليب ودورات البحث المتبعة. وهذا يجعل من الممكن تصميم الشبكات ذات الأبعاد الكبيرة بشكل مثالي، أو القريب من المثالي في ثوانٍ قليلة باستخدام أجهزة الحاسوب الشخصية. يعتمد زمن تشغيل طرق الجي بي اس التقريبيِّة بشكل أساسي على العدد الكلي للعمليات التكرارية. كانت هذه الأزمنة حوالي 425 ثانية بـ 14880 عملية تكرارية بتطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس مقارنةً مع 6 ثواني بـ 28 عملية تكرارية بتطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس. بما أن العمليات الحسابية في طريقة البحث المحظور للجي بي اس أسهل بكثير من طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس (لاوجود لاحتمالات، ولا دالة أسية، ولا قرارات عشوائية، إلخ)، فهذا بالضبط ما سوف يتوقعه المستخدم.

Technique	VINT	VBFS	RRM%	K	ET
GPS-SA	1405	1355	3.7	14880	425
GPS-SA. Opt	1405	1325	6	14880	425+D
GPS-TS	1405	1075	30.7	28	6

الجدول 3.6 النتائج الحسابية للطرق التقريبيِّة للجي بي اس المطبَّقة على شبكة الجي بي اس في مالطا.

حيث أن:

VINT: البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي.

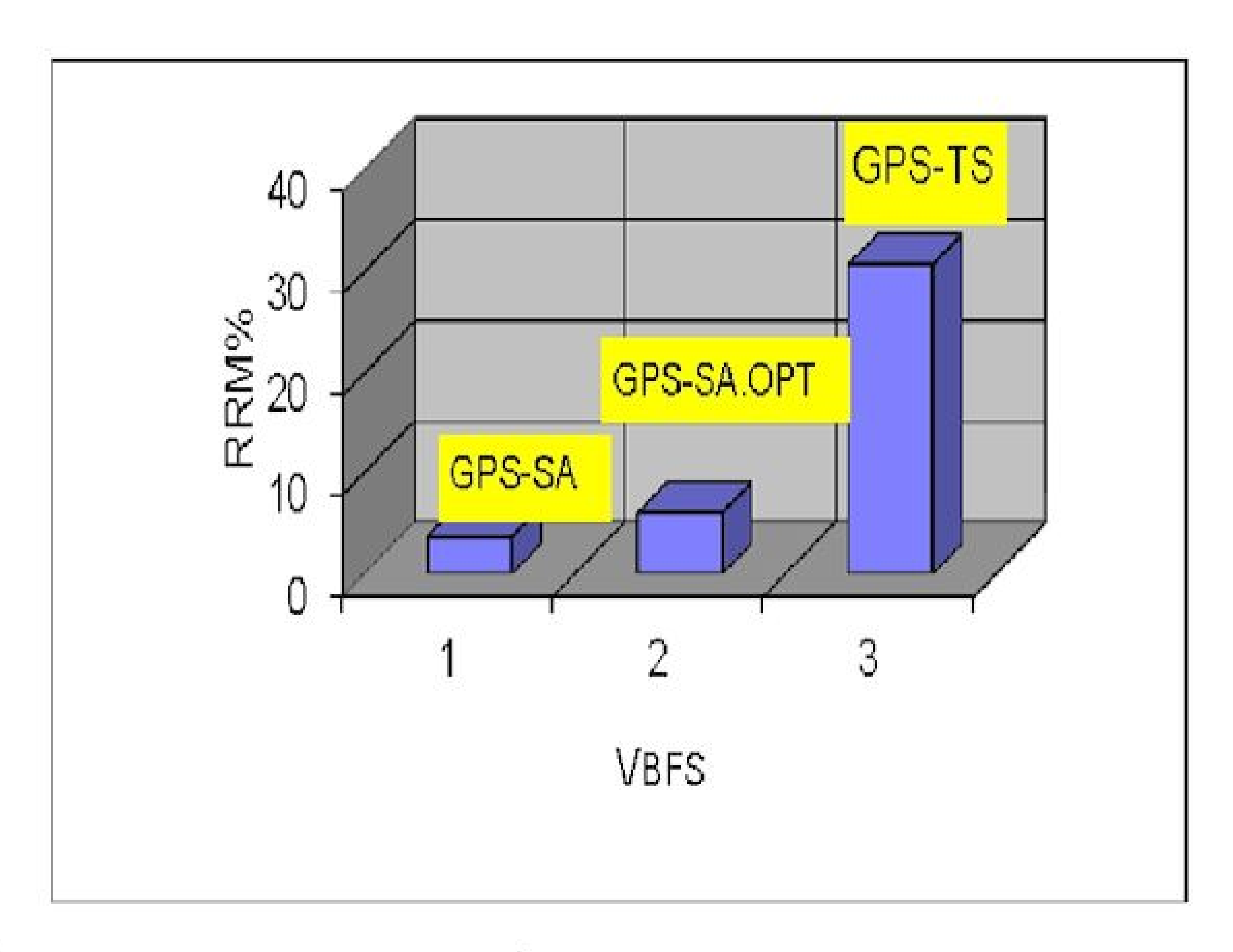
VBFS: أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه.

K : عدد العمليات التكرارية.

D : الوقت المطلوب من المهندس المساحي لتطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس ذات الحرارة المثالية (GPS-SA.OPT).

ET : زمن التشغيل بالثواني.

RRM: مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية (Makespan)



الشكل 14.6 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل أفضل برنامج عمل ناتج بتطبيق الطرق التقريبيّة المطوّرة على شبكة الجي بي اس في مالطا.

بالنسبة لزمن التشغيل (ET) في طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس ذات الحرارة المثالية، هو ذاته بالنسبة لطريقة التلدين الجريبي مضافاً إليه الوقت الإضافي المطلوب (D) من قبل المستخدم لتعديل البرنامج القريب من المثالي والناتج بطريقة التلدين التجريبي. يعتمد هذا الزمن المطلوب على عدة عوامل: حدس وخبرة المستخدم، عدد الأشعة المرصودة والأهم من ذلك كم هو عدد أجهزة الاستقبال المستخدمة في رصد كل شعاع، أي كم هو عدد الأشعة المرصودة بجهازين وعدد الأشعة المرصودة بثلاثة أجهزة؟ بالنسبة لشبكة الجي بي اس في مالطا، إن الزمن المطلوب 3 دقائق وسيكون زمن التشغيل (ET) 180+425 = 605 ثانية. في هذه الدراسة، تمَّ قياس كل الأزمنة الحسابية باستخدام الحاسوب الشخصي (PC p5 /133 Viglen).

تمَّ الحصول على أفضل تصميم لطريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور للجي بي اس، وتمَّ التحقق من التأثيرات المترتبة على تغيير قيم المعامل المختلفة على أداء هذه الطرق. تمَّ اختبار كامل مجموعة البرامج المجاورة بطريقة التلدين التجريبي والتي تصبح مكلفة جداً مع ازدياد أبعاد الشبكة. إن استخدام استراتيجيات القائمة المرشحة لدورات البحث التجميعية

يعطي أفضل السبل لاختصار الجهد الحسابي دون التأثير على جودة برنامج تنظيم العمل الحقلي. إن تطبيق مخطط مقياس التحسين في طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس، الذي يُمكِّن المستخدم من التفاعل مباشرة بمراحل تصميم الشبكة في أثناء تشغيل البرنامج، يبدو مناسباً لمثل هذه المسائل ذات الصعوبة الحسابية. كلا الطريقتين، التلدين التجريبي بشكلها الأساسي والتلدين التجريبي ذات مخطط التحسين بالحرارة المثالية تتصرفان تقريباً بالأسلوب ذاته. بخصوص جودة برنامج تنظيم العمل الحقلي، إن طريقة التلدين التجريبي ذات مخطط التحسين بالحرارة المثالية تعطي نتائج أفضل إلى حد ما ولكن مع زيادة ملحوظة في الزمن الحسابي.

6.6 الاستنتاج

تمَّ عرض بيانات شبكة الجي بي اس في مالطا في هذا الفصل والمكوَّنة من القسم النظري والتطبيقات مع التحقق من أداء الطرق التقريبِّية المطوَّرة للجي بي اس. يعتمد تطبيق هذه الطرق التقريبِّية على البنية الإنشائية التسلسلية لمجموعة البرامج المجاورة التي تتناسب مع طبيعة شبكات الجي بي اس بالإضافة إلى البرنامج الأولي للبدء لرصد شبكة مالطا. لقد تمَّ صياغة هذه البنية وتطويرها وفقاً لمتطلبات شبكة الجي بي اس المساحية وأعطت نتائج جيدة. تمَّ تكوين وتطوير مخطط مقياس تحسين جديد والحصول على نتائج جيدة. وهذا يعود بالأساس لطبيعة أساليب ودورات البحث المتتابعة التي تُحّسن جودة البرنامج الأولي للبدء والذي تمَّ اختياره عشوائياً. علاوة على ذلك، يُعطي المخطط الجديد للمستخدم القدرة بالتحكم في تحقيق التوازن بين المفارقات في مقدار الزمن الحسابي اللازم وجودة البرنامج المرغوب بالحصول عليه.

الفصل السابع
طريقتا البحث التجريبي
والبحث المحظور لتصميم شبكة الجي بي اس في سيشيلز

1.7 مقدمة

يُوضح هذا الفصل تطبيق طرق الجي بي اس التقريبيِّة على تصميم شبكة الجي بي اس في جمهورية سيشيلز ذات الشكل المضلَّع الخطي المفتوح (Traverse). تمَّ تطوير طريقة جديدة لاستطلاع العمل الميداني الخاص بالجي بي اس التقريبي ومن ثم تطبيقها على شبكة سيشيلز والحصول على النتائج المبيَّنة أدناه. تمَّ تعريف عناصر كلٍ من طريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور المستخدمتين في هذه الدراسة وتمَّ عرض تطبيقاتهم على شبكة الجي بي اس في سيشيلز. وسيتم تنفيذ التجارب الحاسوبية من أجل تقييم القيم الجيدة لكلٍ من معامل التلدين والحظر. سيتم دراسة واختبار الاستراتيجية المتبعة في تغيير تلك القيم خلال تنفيذ طرق الجي بي اس التقريبيِّة، وسوف تُناقش النتائج الحسابية ومقارنتها مع النتائج التي تمَّ الحصول عليها في الفصل 6.

2.7 صياغة البرمجة الرياضية لشبكة الجي بي اس في سيشيلز

قام فريق من المساحين من مدرسة المساحة في جامعة شرق لندن في آب عام 1998 بالتعاون مع شعبة الأراضي والمساحة في وزارة استخدام الأراضي والموائل بتنفيذ مشروع لتكثيف نقاط المراقبة المساحية في سيشيلز. كان

المطلب الرئيسي إنشاء شبكة تكثيف نقاط مساحية في الجزر التالية: ماهي (Mahe)، براسلين (Praslin)، لاديج (La Digue) (الجزر الداخلية) باستخدام أجهزة استقبال الجي بي اس. تمَّ الانتهاء من العمل الميداني لهذا المشروع خلال فترة ثلاثة أسابيع، وتمَّت معالجة البيانات لهذا المشروع في جامعة شرق لندن. يُنظر إلى مصفوفات الكلفة الأساسية والفعلية في (Dare 1999). وسوف يستند هذا الفصل على جزيرة ماهي (Mahe) فقط، كونها تُشكل أكبر الشبكات الثلاث إلى حد بعيد.

قامت شركة (Geosystems MAPS) في أيار عام 1988 بمساعدة الموظفين ودعمهم من شعبة مسح الأراضي في وزارة استخدام الأراضي والموائل بتنفيذ مشروع إعادة تأهيل شبكة النقاط المساحية الرئيسية كجزء من مشروع رسم الخرائط المُصححة (Orthophoto Mapping). تتألف هذه الدراسة من تحديد 50 نقطة مساحية رئيسية باستخدام نظام تحديد المواقع (الجي بي اس) على العديد من الجزر التي تُشكل جمهورية سيشيلز. لقد تمَّ تصميم هذه الشبكة الرئيسية الجديدة لتشمل بعض النقاط المساحية الرئيسية الموجودة فعلياً. من أجل الحصول على فوائد مباشرة بأقصى حدٍ ممكن، كان من الضروري والمناسب الاستفادة من هذه الشبكة الرئيسية الجديدة في تكثيف النقاط المساحية لهذه الشبكة على المستوى المحلي باستخدام نظام الجي بي اس. سيؤدي مشروع شبكة التكثيف إلى إدخال نقاط رئيسية جديدة في المناطق التي هي من المصالح ذات الأولوية.

في الشكل المبسط التجميعي، يُمكن صياغة شبكة الجي بي اس في سيشيلز رياضياً على النحو التالي:

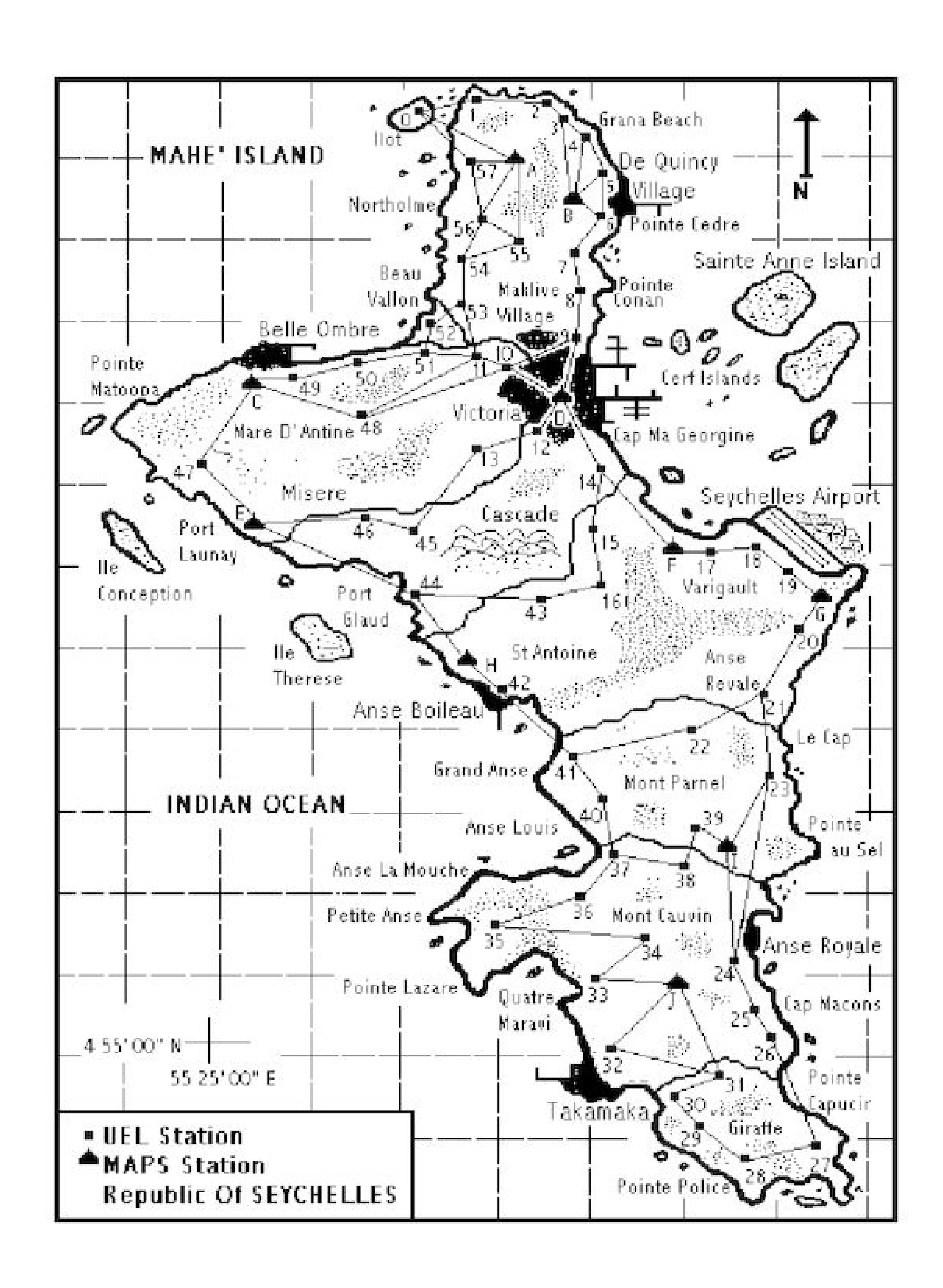
Minimize C (VINT) تخفيض قيمة كلفة البرنامج الأولي:

بشرط أن يكون هذا البرنامج ضمن مجموعة البرامج المجاورة للبرنامج الأولي (VINT∈ I(VINT

حيث إنَّ (I) هي مجموعة الجداول والمجاورة للبرنامج الأولي (VINT).

في هذا التطبيق، إن المسألة المراد مناقشتها إيجاد البرنامج الأقل

كلفة لتنظيم العمل الحقلي (VBFS) الذي يُخفض الزمن التراكمي (C (VINT)) للتنقل بين67 نقطة مساحية (N=67) بهدف رصد71 شعاع (U=71) باستخدام ثلاثة أجهزة استقبال (3=R) في جزيرة ماهي. بشكل إجماعي، توجد 57 نقطة مساحية جديدة يطلب إيجاد إحداثياتها بالاعتماد على عشر نقاط مساحية لشركة ماب و71 شعاع كما هو مبين في الشكل 1.7. إن العدد الأعظمي لأجهزة الاستقبال المستخدمة هو ثلاثة أجهزة.



الشكل 1.7. تصميم شبكة الجي بي اس في سيشيلز.

أهداف تصميم شبكة الجي بي اس الجديدة

نظراً لتدهور حالة شبكة النقاط المساحية الرئيسية، وجد من الضروري إعادة إنشاء شبكة رئيسية جديدة تمتد على كامل الجزر الكبيرة لجمهورية سيشيلز وخاصة جزيرة ماهي (Mahe)، جزيرة براسلين (Praslin) وجزيرة لاديج (La Digue) باستخدام نظام الجي بي اس. كانت الأهداف الرئيسية لتطوير وتكثيف الشبكة الحالية من قبل الفريق المساحي من جامعة شرق لندن كما يلي:

إنتاج شبكة جديدة مكثفة أولية تغطي الجزر الداخلية.

تكثيف عدد من النقاط المساحية من أجل تسريع وتسهيل الأعمال المساحية العقارية (وأنواع أخرى من الدراسات المساحية).

التخلص من كافة المفارقات والتباينات المتأصلة في الجملة الإحداثية الحالية بهدف تأمين الخدمات بشكل سريع وفعَّالية أكثر.

إنتاج نتائج أسرع مما كان عليه سابقاً، بالإضافة إلى تأمين البنية التحتية المساحية على المدى الطويل.

الأعمال اللوجستية والاستطلاع الميداني المساحي **(Logistics and Reconnaissance)**

خلافاً لما هو عليه في مالطا، تمَّ تجميع البيانات لتمكين تقييم الكلفة في الزمن ذاته الذي تمَّ فيه تنفيذ الاستطلاع المساحي (Reconnaissance) لأعمال الجي بي اس، وهذا ساعد في تجنيب كل المشكلات مثلاً في تعديل برنامج عمليات رصد شبكة مالطا (كما هو موضح في الجزء 6.4) لإنتاج برنامج أولي جيد. إن الميزة الأخرى هي أنه بسبب الطوبولوجيا وطبيعة الأرض (الوديان والجبال) فإنه يمكن تحديد البرنامج الفرعي لكل يوم عمل بشكل تقريبي. بأخذ كل ما سبق بالحسبان، وقد تمَّ اتباع الطريقة التالية وتنفيذها لعمليات الاستطلاع التقريبي للجي بي اس عند إنشاء شبكة الجي بي اس في جمهورية سيشيلز:

تمَّ تقسيم الفريق إلى ثلاث مجموعات ولكل منها مسار خاص بها.

تمَّ قيادة السيارات بسرعة عادية.

قام أعضاء كل مجموعة بقياس الزمن بشكل فردي من نقطة إلى أخرى وتمَّ اتخاذ المتوسط.

تمَّ أخذ متوسط كافة المجموعات كقيمة نهائية.

تمَّ ترقيم النقاط بطريقة متناسقة.

يمكن تعميم الطريقة المذكورة أعلاه وتطبيقها على أي شبكة مرصودة بالجي بي اس، والتي سوف تلبي كل متطلبات الجي بي اس والمفاهيم التقريبيِّة وتجعل العمل سهلاً. يبين الشكل 7.2 العمليات الاستطلاعية لأحد هذه النقاط وتنفيذ توصيف النقطة، في حين يبين الشكل 3.7 موقع إحدى النقاط المرصودة وصعوباتها.

البرنامج الأولي (The Initial Schedule (VINT))

إن البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة الجي بي اس في سيشيلز تمَّ إنتاجه يدوياً باستخدام الخبرة العملية وشكل الشبكة كما هو مبين في الشكل 1.7. يتألف هذا البرنامج من سلسلة مكوَّنة من 71 شعاعاً، وكل شعاع يستخدم ثلاثة أجهزة استقبال (Ra, Rb, Rc). على أي حال، مهما كانت المعايير التي اعتمدت لاختيار البرنامج الأولي، إن ميزات طرق الجي بي اس التقريبيِّة قادرة على إيجاد البرامج الأقل كلفة لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة.

3.7 التطبيق العملي لطريقة التلدين التجريبي في تصميم شبكة الجي بي اس في سيشيلز

إن خطوات تطبيق طريقة التلدين التجريبي في تصميم شبكة سيشيلز هي ذاتها بالنسبة لشبكة مالطا.

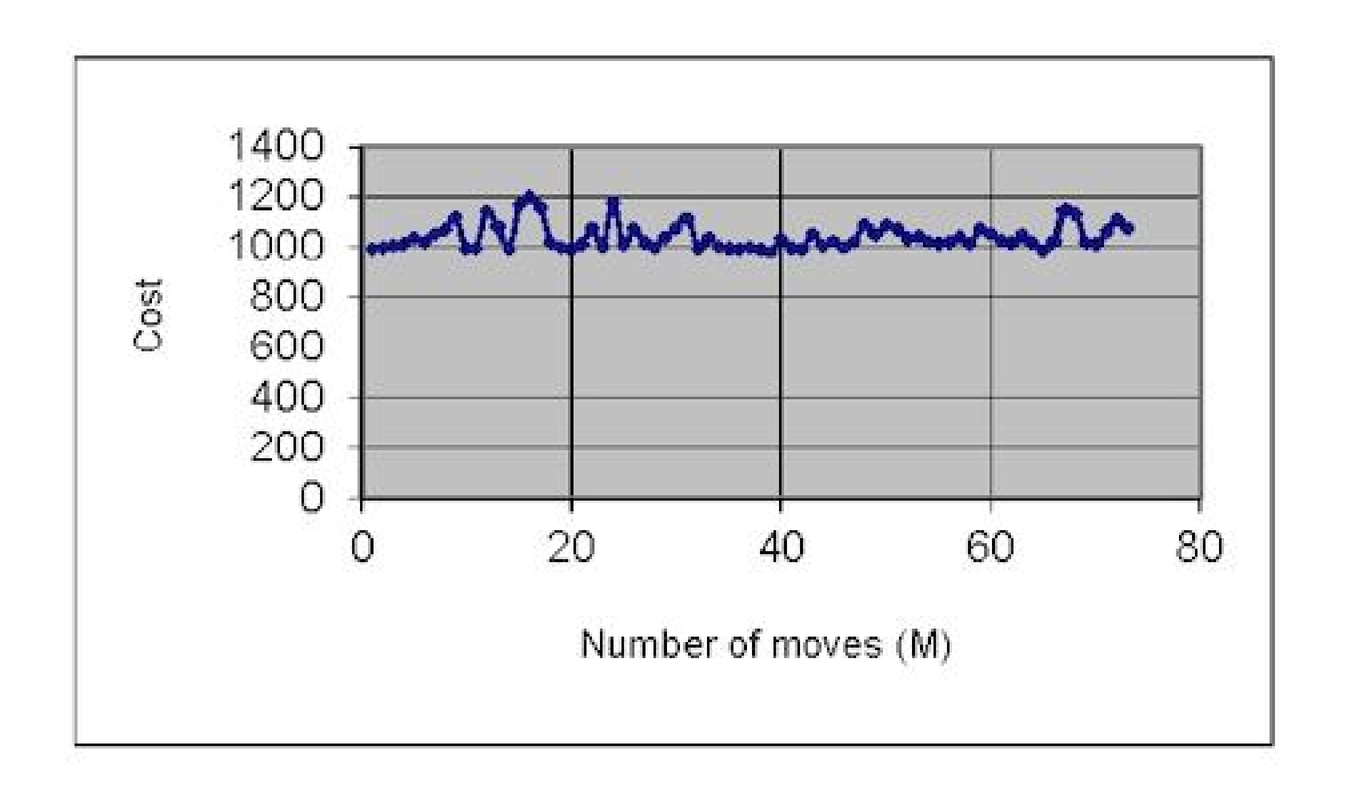
التحقق من معامل التلدين

في محاولة لتحسين معامل التلدين وتطبيقها في تصميم شبكة سيشيلز، فمن الضروري أن نأخذ بعين الاعتبار أن الاستنتاجات بالنسبة للشبكات الأخرى مثلاً في شبكة مالطا لا تنطبق بالضرورة على كل تطبيق لمعامل التلدين، كما إنها ليست قابلة للتطبيق حتى إذا كانت الشبكات بأحجام مختلفة أو بنية معينة.

الحرارة الأولية

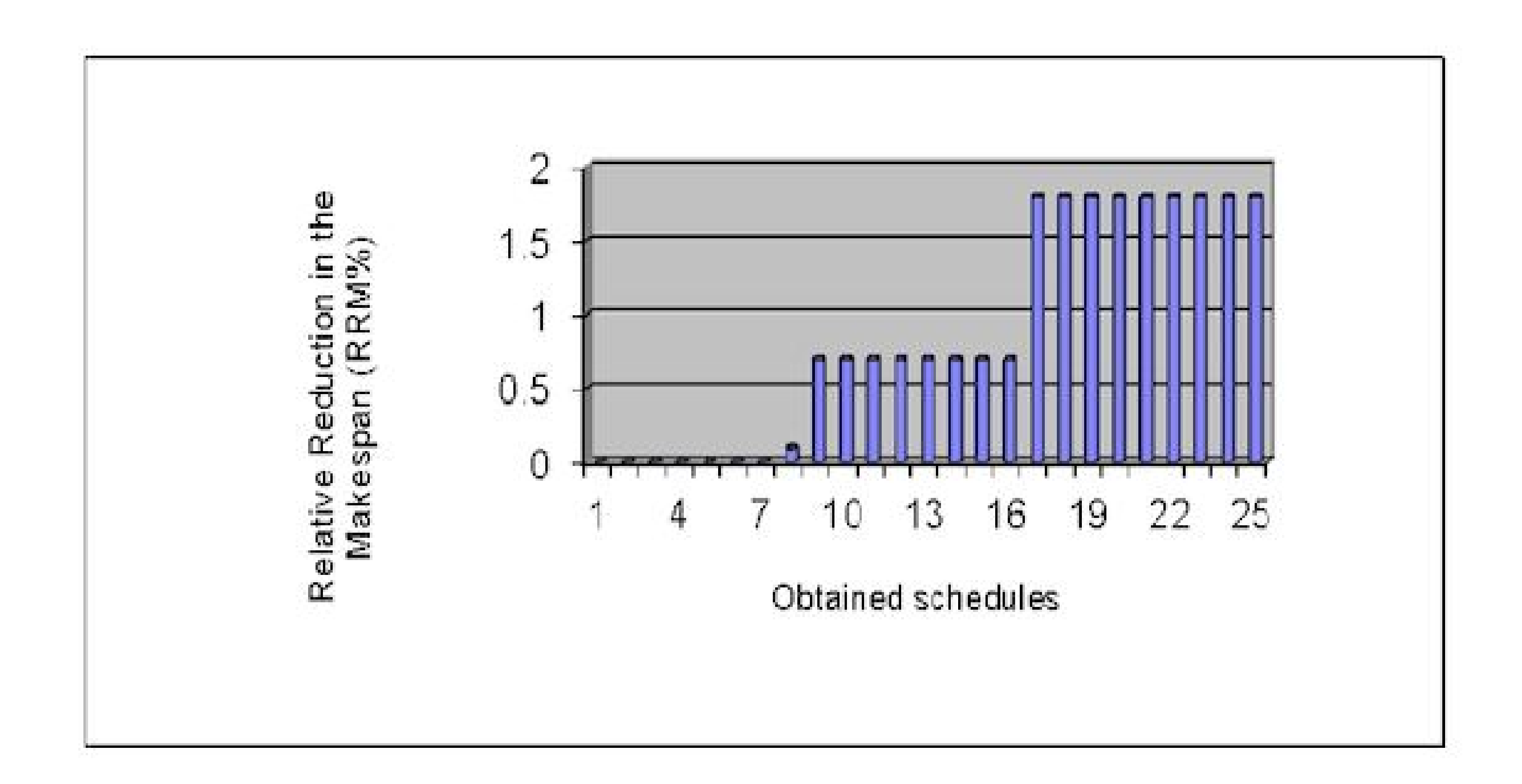
تمَّ الحصول على درجة الحرارة البدائية والنهائية لشبكة الجي بي اس لجمهورية سيشيلز بالأسلوب ذاته الذي تمَّ تطبيقه بالنسبة لشبكة الجي بي اس في مالطا. كما تمَّت مناقشته سابقاً في الفصل6، إن الطريقة المذكورة أعلاه لتحديد درجة الحرارة الأولية لا تعمل بالنسبة الشبكات الكبيرة ذات الطوبولوجيا الوعرة (Bumpy Topology) لدالة الكلفة كما هو مبين وبيانياً في الشكل 2.7. للحصول على درجة الحرارة الأولية تجريبياً، تمَّ اتباع الأسلوب ذاته المطبق على شبكة الجي بي اس في مالطا في هذا الفصل.

تبدأ طريقة التلدين عملها بقيمة أولية لدرجة الحرارة البدائية (Ti=100) يتم اختيارها كيفياً وذلك بتشكيل عشرات الانتقالات لتحديد نسبة القبول (Paccep= 0.92). إن عدد الانتقالات المقبولة (maccep) هو 138، فيما بلغ العدد الإجمالي للانتقالات المنفذة (mtotal) 150 وذلك عند درجة الحرارة (Ti=100). لتحديد التغير في قيم الكلفة (Δ)، إن الكلفة الإجمالية لتنفيذ هذه الانتقالات هو 1305 دقيقة (Ctotal=1305 minutes) لمتوسط لتلك الانتقالات التي أنتجت زيادة إيجابية في قيمة دالة الكلفة 79 دقيقة (mpost =79 minutes). لتحديد درجة الحرارة التجريبية الأولية للبدء، تمَّ تنفيذ العمليات الحسابية التالية على النحو التالي:

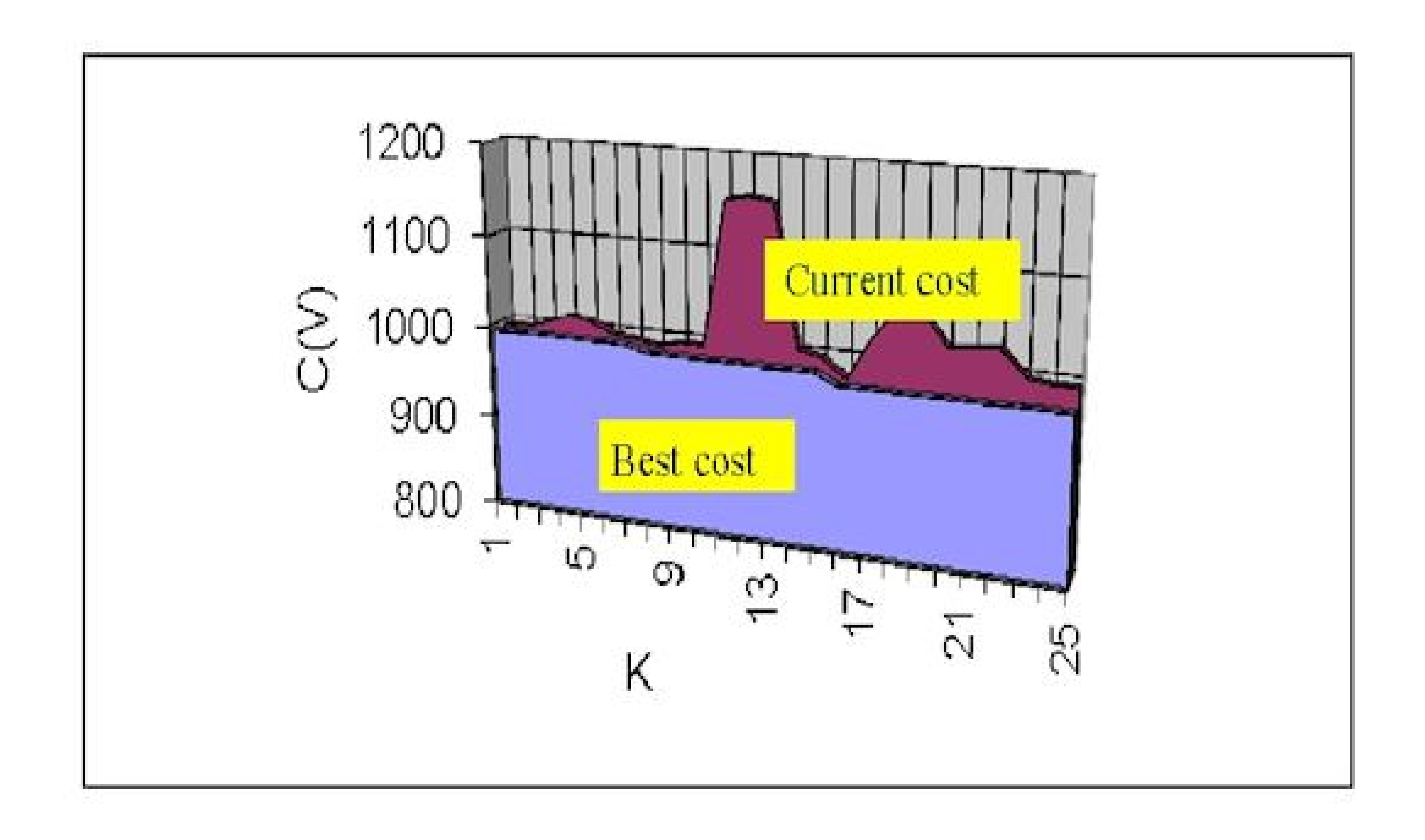


الشكل 2.7. التطور الطوبولوجي لدالة الكلفة لشبكة الجي بي اس في سيشيلز.

تبدأ طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس عمليات التبريد باستخدام درجة الحرارة الأولية 198 (Ti=198) التي تمَّ حسابها ومن ثم تُخفض تدريجياً لطول ثابت لسلسلة ماركوف 2415 (L=2415)، والتي تساوي إلى حجم مجموعة البرامج المجاورة ((I(VINT)، وتخفيض معدل التبريد 0.85 (F=0.85) حتى الحصول على أفضل برنامج (VBFS). يتم التصريح بتجمد عمليات التبريد عندما تتوقف طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس عن العمل وذلك عندما تكون آخر عشر خطط عمل متطابقة وهذا حصل عندما كانت درجة الحرارة التوقف 12 (Tstop=12). تمَّ تقييم النتائج الحسابية للجداول التي تمَّ الحصول عليها بمراحل مختلفة لعملية التبريد باستخدام مقياس التخفيض النسبي للكلفة الإجمالية بالنسبة للبرنامج الأولي كما هو مبين تخطيطياً في الشكل 3.7. مع تقدم عمليات التبريد فإن مقياس التخفيض النسبي للكلفة الإجمالية يصبح (0.1%) بعد 26 عملية تبادل و(0.7%) بعد 27 عملية تبادل. تتوقف طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس عن العمل عند درجة الحرارة التوقف 12 (Tstop=12)، وإن أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه بقيمة 976 ومكوَّنة من 71 شعاع تمَّ تبادل مواقعها بشكل تسلسلي وإن قيمة الانحراف لـمقياس التخفيض النسبي للكلفة الإجمالية عن البرنامج الأولي لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة الجي بي اس في مالطا هو (1.8%) بعد 1242 عملية تبادلية.



الشكل 3.7. مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية يقابل برامج تنظيم العمل الحقلي الناتجة عند درجة حرارة الإيقاف 12 (Tstop=12)

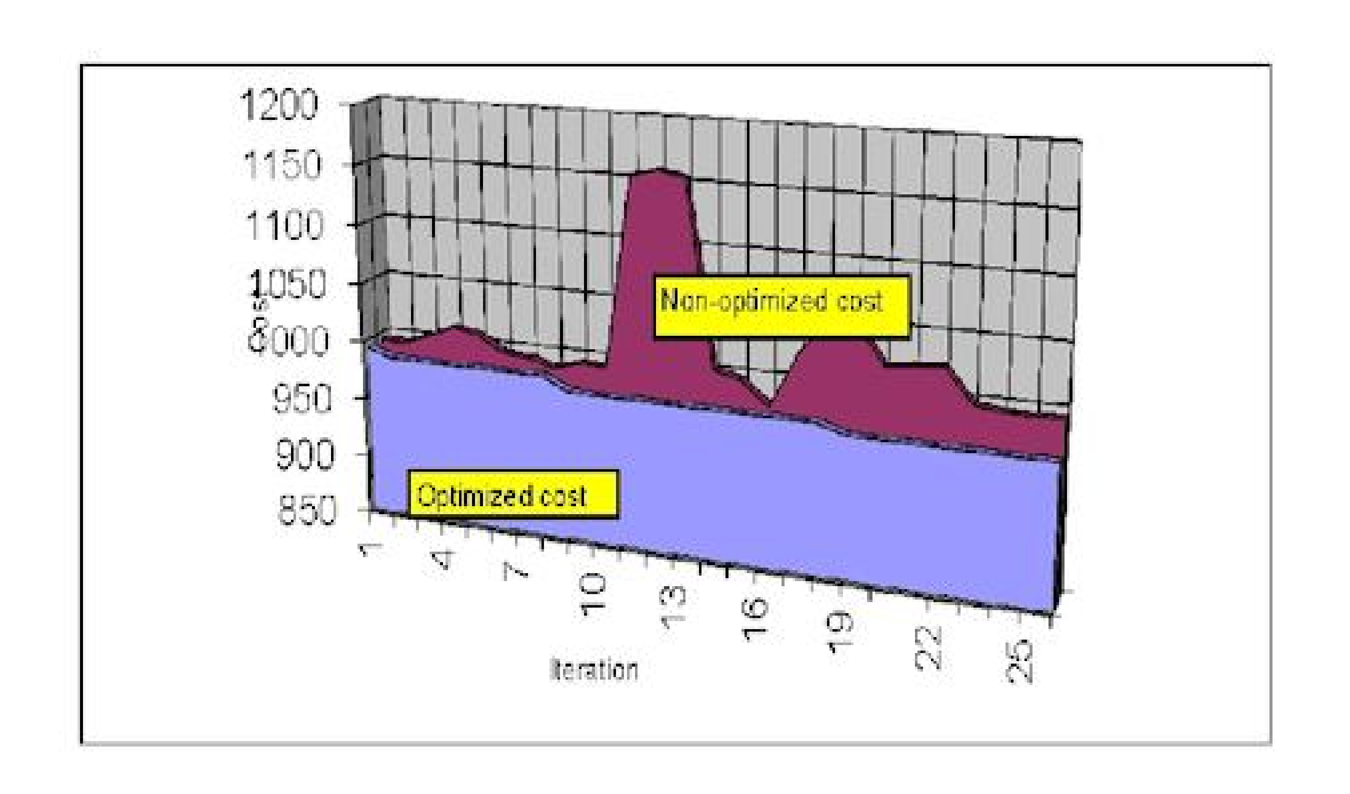


الشكل 4.7. جودة برنامجي العمل الحالي والأفضل الناتجين خلال دورات البحث للتبريد المتتالي

بطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس المطبَّقة على شبكة الجي بي اس في سيشيلز.

يمكن مشاهدة أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه (VBFS) في الشكل 4.7 الصورة التخطيطية لتقارب (Convergence) طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس من هذا البرنامج. للبحث فيما إذا كان قد حصل أي تخفيض في كلفة أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه، تمَّ تطبيق مخطط مقياس تحسين التبريد المقترح على شبكة سيشيلز. يُبين الشكل 5.7 إن مخطط مقياس التحسين يؤدي إلى تحسين في الكلفة بقيمة 969 دقيقة والتي تنحرف عن أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه بطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس بنحو 0.72 بالمئة. إن معامل التلدين الأخرى المستخدمة في الحصول على برنامج تنظيم العمل الحقلي القريب من المثالي، كما سيظهر لاحقاً في مناقشة الجزء التالي، هي (F =85.0) و(L =1242).

للحصول على قيمة درجة الحرارة الأولية، يعرض هذا الجزء نتائج تطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس في حالات مختلفة وذلك للتحقق في معامل التلدين الأخرى. كما هو الحال في شبكة مالطا، فقد تمَّ صياغة طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس كتابع لكل من معدل التبريد وسلسلة ماركوف وتمَّ تحليل تقاربها (Convergence) ضمن هذا النطاق.



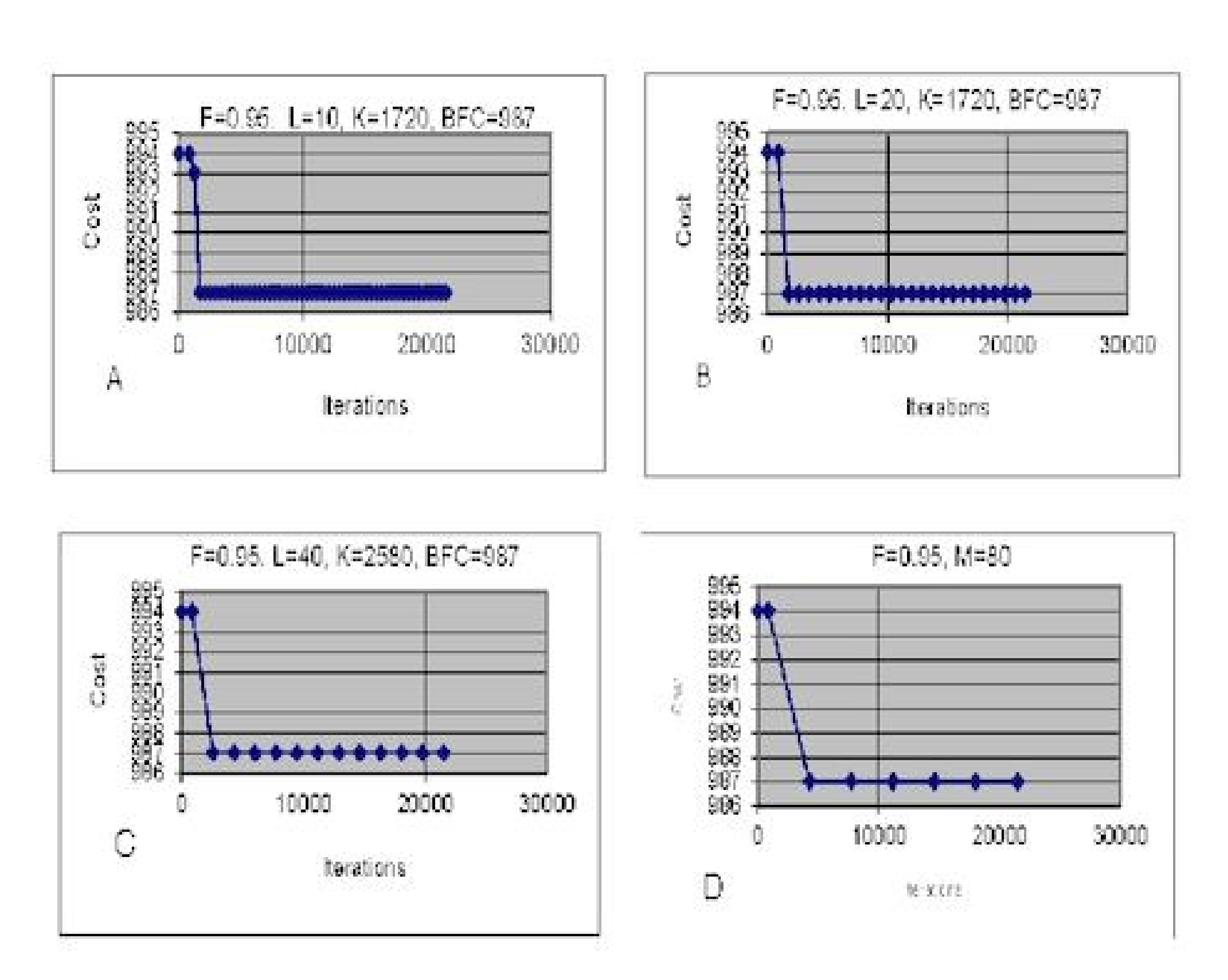
الشكل 5.7. جودة برنامجي العمل الحالي والأفضل الناتجين بطريقة التلدين التجريبي ذات الحرارة المثالية.

لتأمين مقارنة عادلة، تمَّ هنا اتباع الأسلوب ذاته الذي اعُتمد لشبكة الجي بي اس لمالطا للتحقق في العلاقة بين معدلات التبريد وطول سلاسل ماركوف. يستخدم هذا الأسلوب العدد ذاته من التجارب لتغير قيمة معدل التبريد من 0.95 إلى 0.70 وتغير طول سلسلة ماركوف وفقاً للمعادلة 6.5. يوضح الشكل من 9.7 سلوك طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس باستخدام الأسلوب المذكور أعلاه. تُظهر كلُ من هذه الأشكال قيماً مختلفة لـطول سلسلة ماركوف مع القيمة الثابتة لـمعدل التبريد واللازمة للوصول إلى برامج تنظيم العمل الحقلي القريبة من المثالي.

من القيم العددية الناتجة لكلٍ من طول سلسلة ماركوف ومعدل التبريد، يمكن ملاحظة سلوك التبريد لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس. أيضاً، يمكن تحديد القيم المناسبة لكل من طول سلسلة ماركوف ومعدل التبريد التي تؤدي إلى التقارب السليم لهذه الطريقة نحو برامج قريبة من المثالي بزمن حسابي مقبول. إن أفضل القيم لمعدل التبريد التي تؤمن تبريد محكم بعناية وضبط سلوك طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس، تكمن في المجال من 0.80 إلى 0.90. هذه القيم، كما هو الحال في شبكة مالطا، متوافقة مع الدراسات المرجعية في هذا المجال.

بالنسبة لشبكة سيشيلز، إن الطول الأكثر عمليةً لسلسلة ماركوف عندما (Lmax=I)، أي أكبر طول يساوي حجم أكبر مجموعة من البرامج المجاورة 1242 (L=1242) عندما تكون قيمة معدل التبريد 0.85 (F=0.85) (Saleh and

(Dare, 2002) وهي مبينة هنا في الجدول 3.7 عندما يكون رقم البرنامج مساوياً إلى 17 (X = 17). على أي حال، تُسبب هذه القيم لطريقة التلدين التجريبي بأن تحتاج إلى جهود حسابية كبيرة.



الشكل 6.7. تطور كلفة رصد شبكة الجي بي اس في سيشيلز بتطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس

بقيم متغيرة لـطول سلسلة ماركوف وقيمة ثابتة لـمعدل التبريد (F= 0.95).

يُمكن الاستنتاج بأن طول سلسلة ماركوف له تأثيراً مهماً على النتائج النهائية لشبكة الجي بي اس في سيشيلز. حيث يرتبط معامل طول سلسلة ماركوف (L) مع معدل التبريد (F) بالمعنى ذاته وهو إن التخفيض في معدل التبريد ينبغي تعويضه بزيادة في طول سلسلة ماركوف من أجل ضمان نفس الأداء لطريقة التلدين التجريبي. بالنسبة لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس، يُمكن توصيف خصائص التصلب وفق معامل التلدين التالية؛ الحد الأدنى لدرجة الحرارة، والحد الأدنى للتغير في دالة الكلفة، ومعدل التبريد، وطول سلسلة ماركوف. تسمح هذه المعامل بمعرفة متى تكون الشبكة (أي برنامج تنظيم العمل الحقلي) «ساخنة بما فيه الكفاية» ومتى تكون "باردة بما فيه الكفاية" خلال مراحل التصلب.

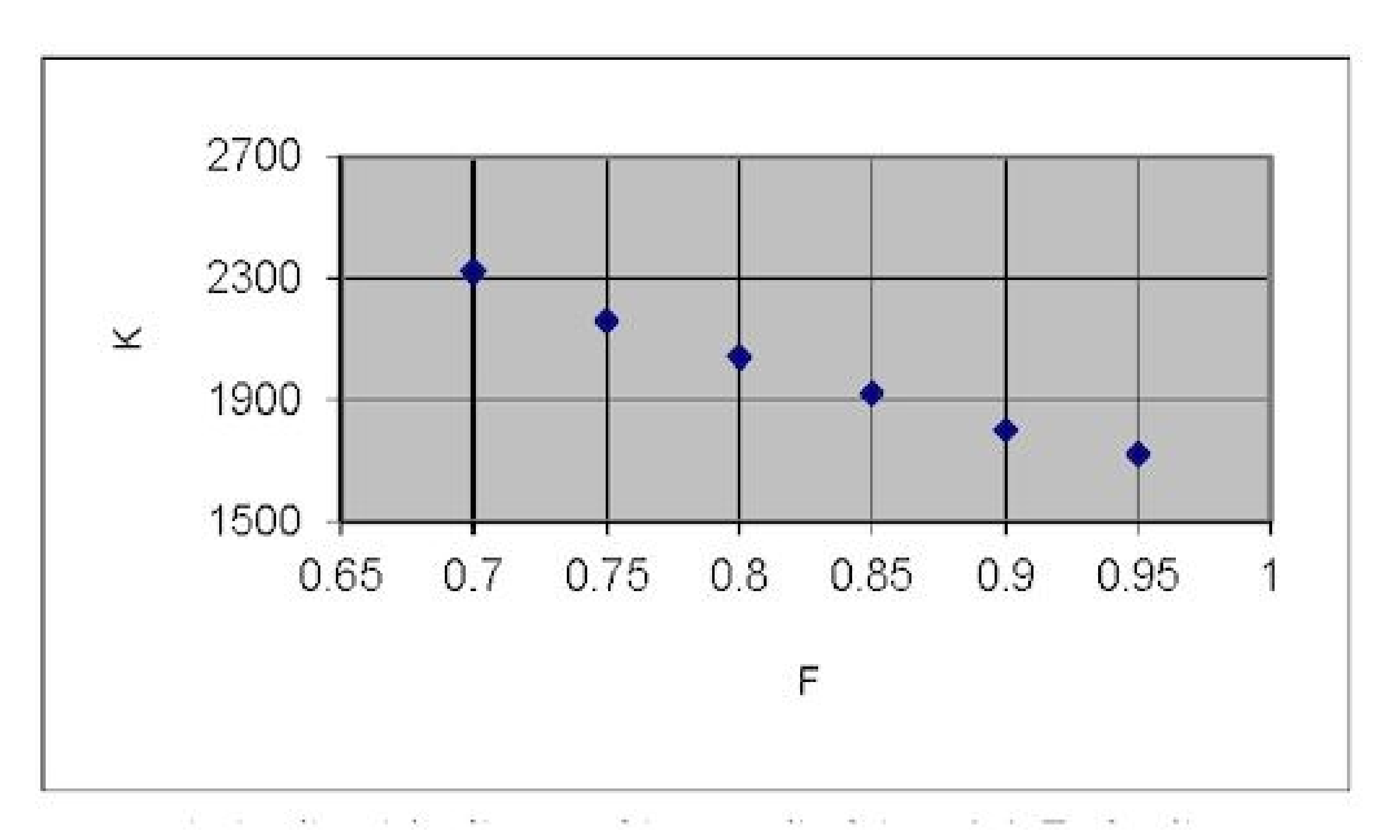
في أي حالة لتطبيق طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس، إن المعرفة الجيدة للشبكة المراد دراستها يمكن أن تحسن دورات البحث للطرق التقريبِّية التي تُحدد ليس فقط طوبولوجيا جيدة لدالة الكلفة، ولكن أيضاً في العديد من

النقاط الحاسمة الأخرى في تحديد معامل التبريد المناسبة.

عدد العمليات التكرارية

يمكن مشاهدة مراحل الجهد الحسابي لطرق الجي بي اس التقريبِّية التي تمَّ تطبيقها على شبكة الجي بي اس في الفصل الرابع. لقد أظهرت الملاحظات التجريبية المعروضة إن أفضل البرامج التي تمَّ الحصول عليها بطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس تتّطلب عدداً كبيراً من العمليات التكرارية ومعامل التبريد الأولية الجيدة.

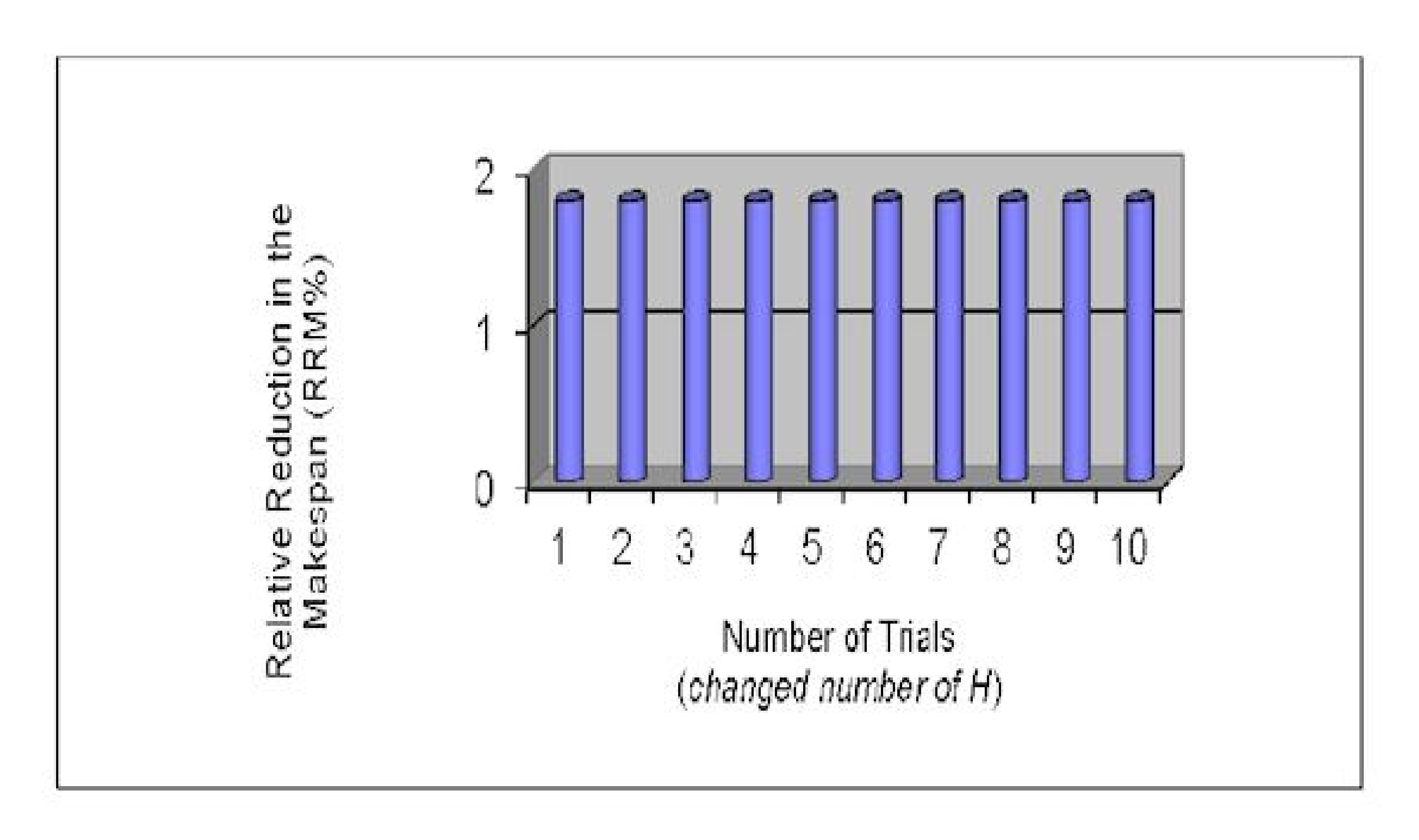
يبين الجدول 6.7 عدد العمليات التكرارية. يصور الشكل 7.7بيانياً العلاقة بين قيمة معدل التبريد وعدد العمليات التكرارية وزمن التشغيل حتى التوصل إلى برامج قريبة من المثالي لشبكة سيشيلز باستخدام طول ثابت لسلسلة ماركوف مقداره 10 (L=10). تمثل كل نقطة في هذا الشكل عدداً كبيراً من برامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة سيشيلز والتي تمَّ إنتاجها بقيمة ثابتة لـطول سلسلة ماركوف وقيماً مختلفة لـمعدل التبريد التي تتراوح من 0.95 إلى 0.70.



الشكل 7.7 معامل التبريد يقابل عدد العمليات التكرارية.

كما هو الحال في الدراسة التحليلية لشبكة مالطا، معظم هذه القيم تُسبب لعمليات التبريد بأن تتطلب جهوداً حسابية كبيرة. إن زمن التشغيل للحصول على أفضل برنامج ناتج كان تقريباً 1700 ثانية بتطبيق 115920 عملية تكرارية. تمَّ إيقاف مراحل التبريد لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس وفقاً لصيغة

الإيقاف المعتمدة فيها وهي عندما لا تعطي التبادلات الداخلية بين الأشعة (Sessions-Interchange) أي مزيد من التحسن في قيمة دالة الكلفة لعدد محدد مسبقاً وهو عشرة برامج متماثلة متتالية (H = 10) كما هو مبين في الشكل 6.7.



الشكل 8.7 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات

لقيمة متغيرة لعدد برامج العمل المتماثلة والمتتالية (H) في المحور الأفقي.

تمَّ إنهاء زمن التشغيل لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس عندما حقق الزمن الحسابي لها صيغة التوقيف. يمكن مشاهدة التحسينات المكتسبة من خلال تطبيق مخطط مقياس التحسين على أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه بطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس كما هو مبين بوضوح في الشكل 8.7. يسعى هذا المخطط لتحقيق التوزيع الممكن الأكثر انسجاماً للأشعة بالإضافة إلى تخفيض الكلفة قدر الإمكان. بقدر ما يكون التوزيع أكثر تجانساً للأشعة بعد مرحلة التبريد بقدر ما يمثل هذا أفضل تشكيل لهذه الأشعة.

في الخلاصة، تمَّ تحديد قيم معامل التبريد الناتجة من خصائص شبكة سيشيلز وأفضل حجم لمجموعة البرامج المجاورة لتنظيم العمل الحقلي واستراتيجيات عمليات البحث باستخدام الشكل الإنشائي المتتالي لمجموعة البرامج المجاورة (sequential neighbourhood structure). تمَّ تعيين جودة معامل التبريد هذه مع إعطاء تحليل مفصل عن ذلك. تمَّ التحقق من معامل التبريد بالأسلوب الذي تمَّ فيه الحصول على البرامج القريبة من المثالي وذلك باستخدام استراتيجيات

تطبيق مختارة مثلاً في الخيارات المختلفة لقيم معامل التحكم.

4.7 التطبيق العملي لطريقة البحث المحظور في تصميم شبكة الجي بي اس في سيشيلز

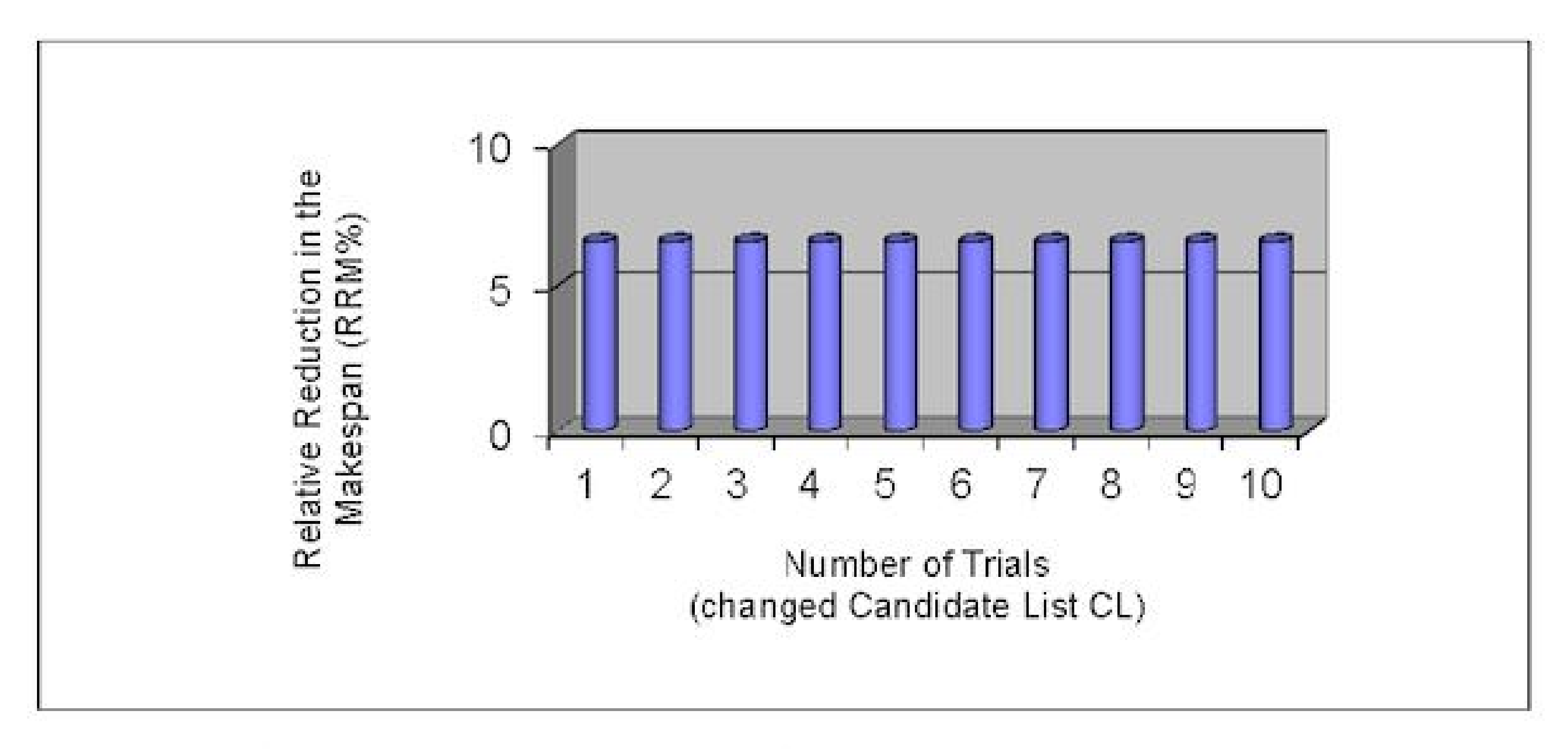
إن خطوات تطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس بالنسبة لشبكة سيشيلز هي ذاتها بالنسبة لشبكة مالطا.

التحقق من فعَّالية معامل الحظر

سيتم في هذا الجزء، عرض النتائج الحسابية التي تمَّ الحصول عليها من تطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس على شبكة الجي بي اس في سيشيلز. وسيتم التحقق من سلوك هذه الطريقة تحت تأثير تغير قيم معامل الحظر التي تمَّ وصفها في الجزء 2.4.5. إن معامل الحظر الرئيسي هو لائحة الحظر الثابتة (fixed TL). تمَّ إنجاز هذه المهمة في استراتيجية الذاكرة على المدى القصير من خلال الحفاظ على الانتقالات المحظورة في بنية مصفوفية. بالنسبة لشبكة سيشيلز فإن حجم لائحة الحظر هو (71 * 71 = TL) حيث بلغ عدد الأشعة المرصودة 71 شعاع (71 = U). كما هو الحال في شبكة مالطا، سيتم في هذا الجزء تطبيق مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية (RRM) لتقييم تأثير معامل الحظر على النتائج الحاصلة وفقاً لجودة برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة والمتطلبات الحسابية.

القائمة المرشحة

للتحقيق في سلوك هذه الطريقة كتابع للقائمة المرشحة، تمَّ تثبيت قيم كلٍ من مدة الحظر (TT) وعدد العمليات التكرارية (KK). بزيادة قيمة القائمة المرشحة من 3 إلى 12، إن جودة برامج تنظيم العمل الحقلي الناتجة لم تتأثر كما هو مبين في الشكل 9.7. والسبب في هذا السلوك هو أنه لكل دورة بحث لتشكيل قيم الحظر فإن القائمة المرشحة الثابتة تتجاهل معظم الانتقالات المنجزة وتحتفظ فقط بتلك التي تؤدي إلى برامج جيدة لتنظيم العمل الحقلي لتصميم شبكة الجي بي اس.

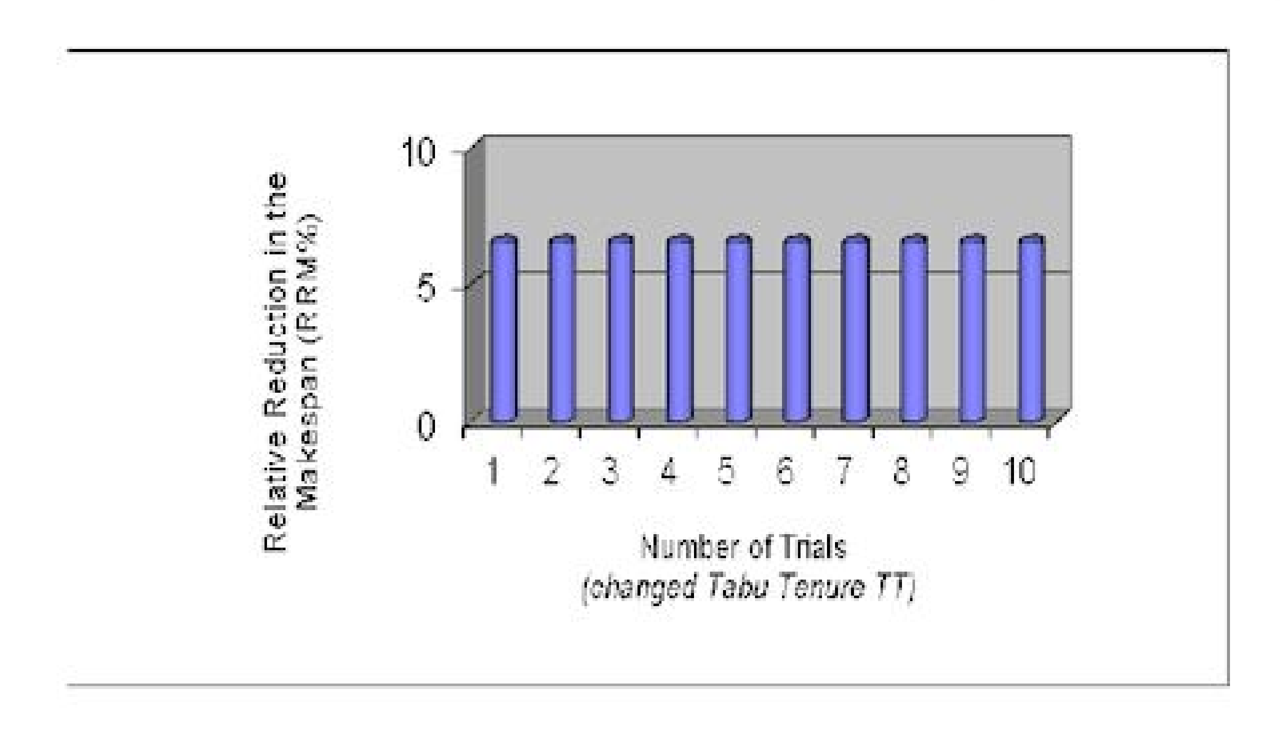


الشكل 9.7 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات

لقيمة متغيرة للقائمة المرشحة في المحور الأفقي.

مدة الحظر

تُظهر الملاحظات التجريبية بأن القيم الصغرى لمدة الحظر كانت كافية ولم يلاحظ أي دوران غير مجدي لعملية البحث (cycling). لم تتأثر جودة الجداول التي تمَّ الحصول عليها بتثبيت كلّ من القائمة المرشحة وعدد العمليات التكرارية وزيادة قيم مدة الحظر التي تتراوح من 3 إلى 12 كما هو مبين في الشكل 12.7. إن السبب الرئيسي لهذا السلوك هو أن القيم الصغيرة للائحة الحظر تُمكِّن الفحص الأكثر عناية وحذراً للمجال البحثي لقيمة دالة الكلفة. بالنسبة لشبكة سيشيلز، تمَّ وضع قيمة مدة الحظر عند القيمة 3 وعندها تمَّ تجميد الانتقالات في مكانها على الأقل لثلاثة تبادلات متتالية للأشعة.

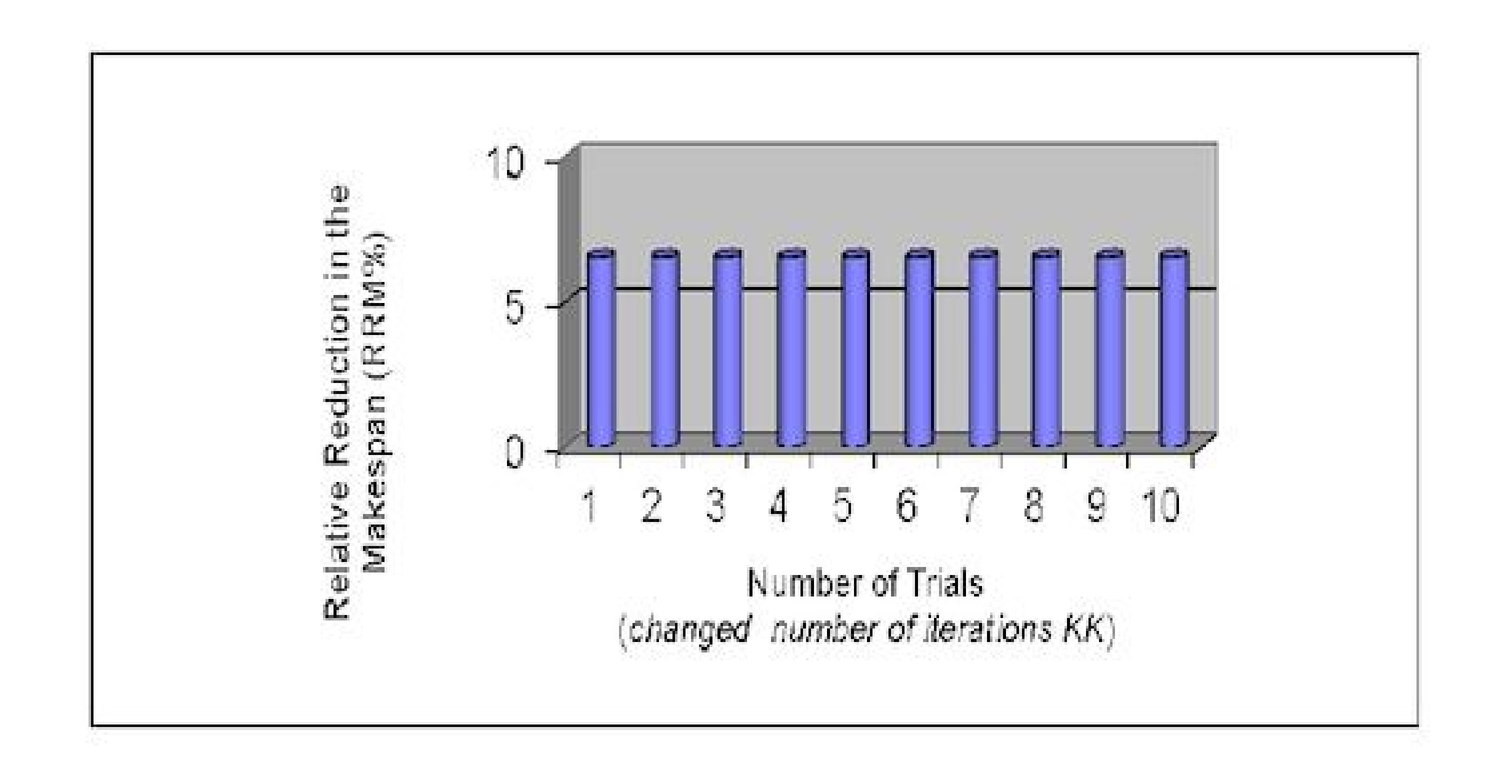


الشكل 10.7 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات

لقيمة متغيرة لـمدة الحظر في المحور الأفقي.

عدد العمليات التكرارية

للتحقيق في سلوك طريقة البحث المحظور للجي بي اس كتابع للعمليات التكرارية، تمَّ تثبيت قيم كلٍ من مدة الحظر والقائمة المرشحة. بزيادة قيمة عدد العمليات التكرارية من 20 إلى 65، إن قيمة مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تبقى ثابتة كما هو موضح بيانياً في الشكل 13.7. خلافاً لما هو عليه في شبكة الجي بي اس لمالطا، فإن العدد المتزايد للعمليات التكرارية لا يُحسن من قيمة مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية. من المرجح أن تبرير هذا السلوك يعود إلى متانة وقوة هذه الطريقة ولشكل المضلَّع المفتوح (Traverse Type) لشبكة سيشيلز، حيث إن الشبكات ذات الشكل المضلَّع المفتوح تمتلك خياراً أقل بالنسبة للبرامج المقبولة لتنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة.

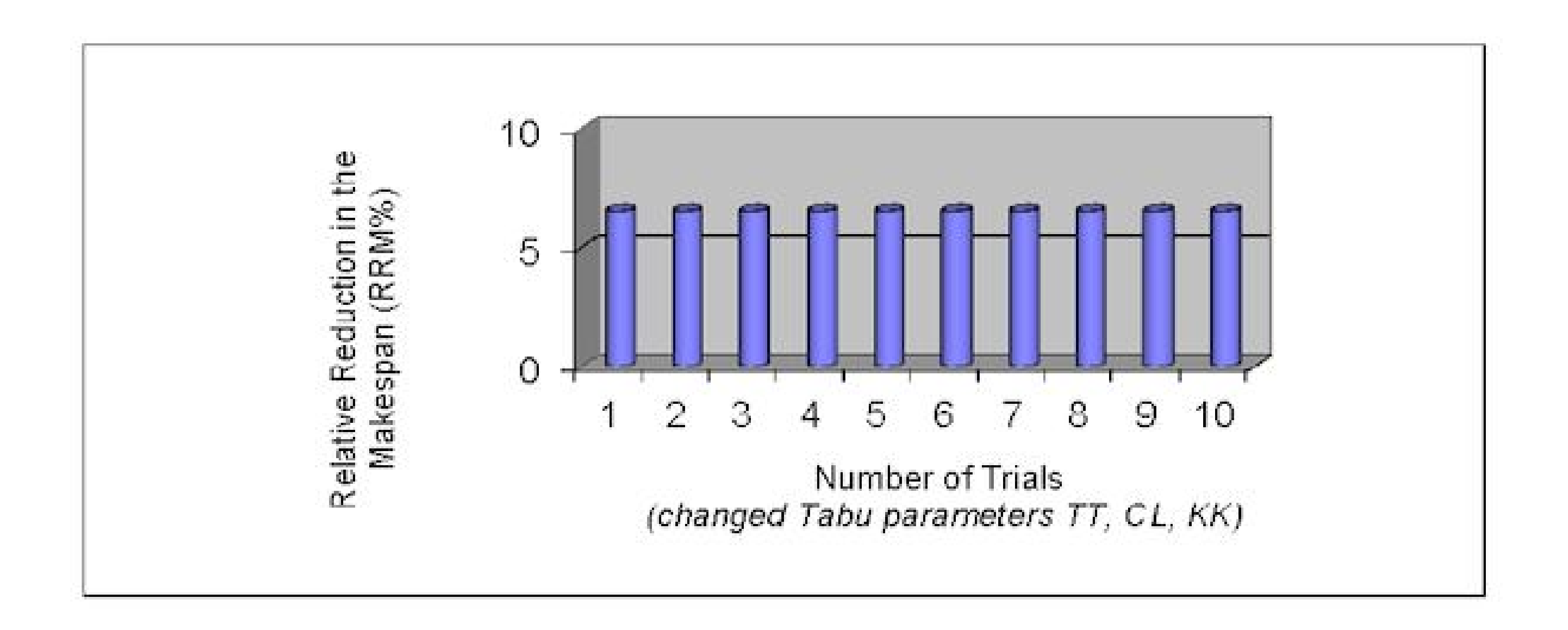


الشكل 11.7 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات لقيمة متغيرة للعمليات التكرارية في المحور الأفقي.

تأثير معامل الحظر مجتمعة

كما تمَّ ذكره سابقاً في الجزء 4.2.6.6، قد يحدث بأن يتمَّ الحصول على زيادة مكتسبة في أداء طريقة البحث المحظور للجي بي اس بتغيير قيم معامل الحظر في وقت واحد. بتطبيق هذه المعايير بالنسبة لشبكة الجي بي اس في سيشيلز، لم يتم الحصول على أي زيادة مكتسبة في أداء هذه الطريقة وفقاً لتغيير قيم معامل

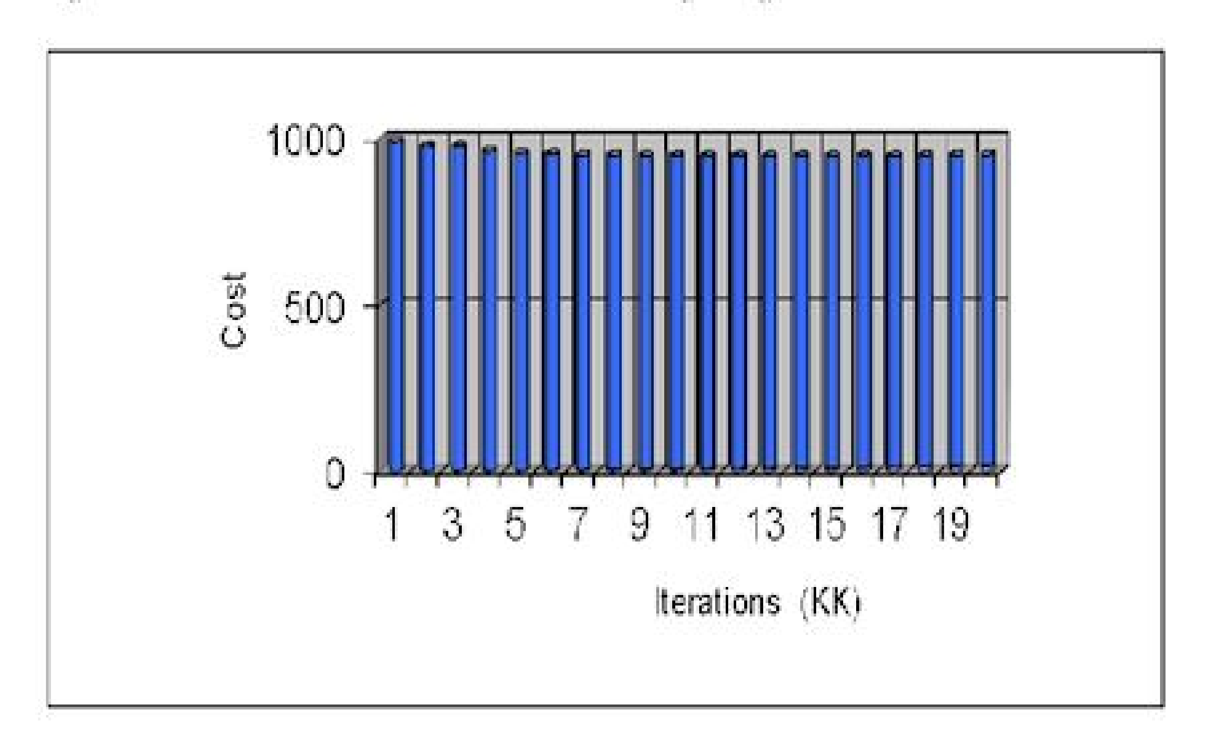
الحظر كما هو مبين في الشكل 10.7. كما تمَّت مناقشته في الجزء السابق عند التعامل مع معامل العمليات التكرارية، إن التبرير المحتمل لاستقرارية هذه النتائج يعود إلى مرونة ومتانة هذه الطريقة وشكل المضلَّع المفتوح لشبكة الجي بي اس في سيشيلز.



الشكل 12.7 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل عدد المحاولات لقيمة متغيرة لكافة معامل الحظر

(مدة الحظر، القائمة المرشحة، العمليات التكرارية) في المحور الأفقي.

بالنسبة لشبكة الجي بي اس في سيشيلز، إن معامل الحظر المختارة لأفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي تمَّ الحصول عليه بقيمة 933 دقيقة هي القيم التالية: 10 للقائمة المرشحة، و3 لمدة الحظر، و20 لعدد العمليات التكرارية و(71*71) للائحة الحظر . إن أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي تم الحصول عليه بتطبيق طريقة البحث المحظور للجي بي اس يمكن إيجاده بيانياً في الشكل 11.7.



الشكل 13.7 مخطط تطور الكلفة يقابل عدد العمليات التكرارية لطريقة البحث المحظور

في الخلاصة، يبدو أن جودة برنامج تنظيم العمل الحقلي الناتج بطريقة البحث المحظور للجي بي اس لم تتأثر بالخيارات المختلفة لقيم معامل الحظر والاستراتيجيات المطبَّقة. إن قوة ومتانة هذه الطريقة يبدو أنها تعود بشكل أساسي إلى فعَّالية استراتيجية البحث المحظور. أيضاً، تلعب ميزات الشكل الهندسي لشبكة الجي بي اس في سيشيلز دوراً حاسماً في اختيار برنامج ممكن لتنظيم العمل الحقلي للبدء في تصميم الشبكة. بالنسبة للشبكة المدروسة، يبدو أن دمج استراتيجية البحث المحظور في التشكيل المتتابع للأشعة تكون طريقة تقريبية فعَّالة جداً بالنسبة لشبكة الجي بي اس. بالنسبة لشبكة الجي بي اس ذات الأبعاد الكبيرة في سيشيلز، أعطت استراتيجية البحث المحظور برامج ذات كلفة قليلة بأقل زمن حسابي بالمقارنة مع طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس. لقد تمَّ اختبار وفحص استراتيجية تغيير قيم معامل الحظر في أثناء تنفيذ طريقة البحث المحظور للجي بي اس وتبين إن أفضل القيم لهذه المعامل لم تؤثر على الحل بسبب الشكل المضلَّع المفتوح لشبكة الجي بي اس في سيشيلز. كما هو عليه، وعلى أي حال، من الصعب إعطاء قاعدة عامة لتحديد أفضل قيم لهذه المعامل. يبدو أن أفضل استراتيجية ستكون باستخدام قيم صغيرة لمدة الحظر، في حين أن استخدام القائمة المرشحة في دورات عمليات البحث المتعلقة بالمسائل التجميعية يوفر وسائل جديدة لتجنب الجهد الحسابي الكبير دون المساس بجودة برنامج تنظيم العمل الحقلي لتصميم الشبكة.

5.7 المقارنة بين طريقتي البحث المحظور والتلدين التجريبي في تصميم شبكة الجي بي اس في سيشيلز

يعرض هذا الجزء النتائج الحسابية التي تمَّ الحصول عليها بتطبيق الطرق التقريبِّية المطوَّرة للجي بي اس على شبكة الجي بي اس ذات الشكل المضلَّع في سيشيلز. لتوضيح هذه التجارب، إن نتائج معامل الحظر والتلدين مُبينة في الجدول 15.7. تمَّ التحقق من قيمة هذه المعامل على نطاق واسع كما هو مبين في الفصل 6 بالنسبة لشبكة الجي بي اس في مالطا. تُظهر النتائج التي تمَّ الحصول عليها، كما ذُكر سابقاً، تأثيراتها على سلوك الطرق التقريبِّية للجي بي اس في الحصول على برامج قريبة من المثالية لتنظيم العمل الحقلي.

GPS-SA technique	GPS-TS technique
Initial temperature Ti: 198	Tabu List TL:71*71
Temperature decrement factor F:0.85	Tabu Tenure TT:3
Markov chain length L:1242	Candidate Length CL:10
Number of Iteration K: 115920	Number of Iteration KK: 20

الجدول 1.7 معامل التحكم للطرق التقريبِيَّة للجي بي اس المطبَّقة على شبكة الجي بي اس في سيشيلز.

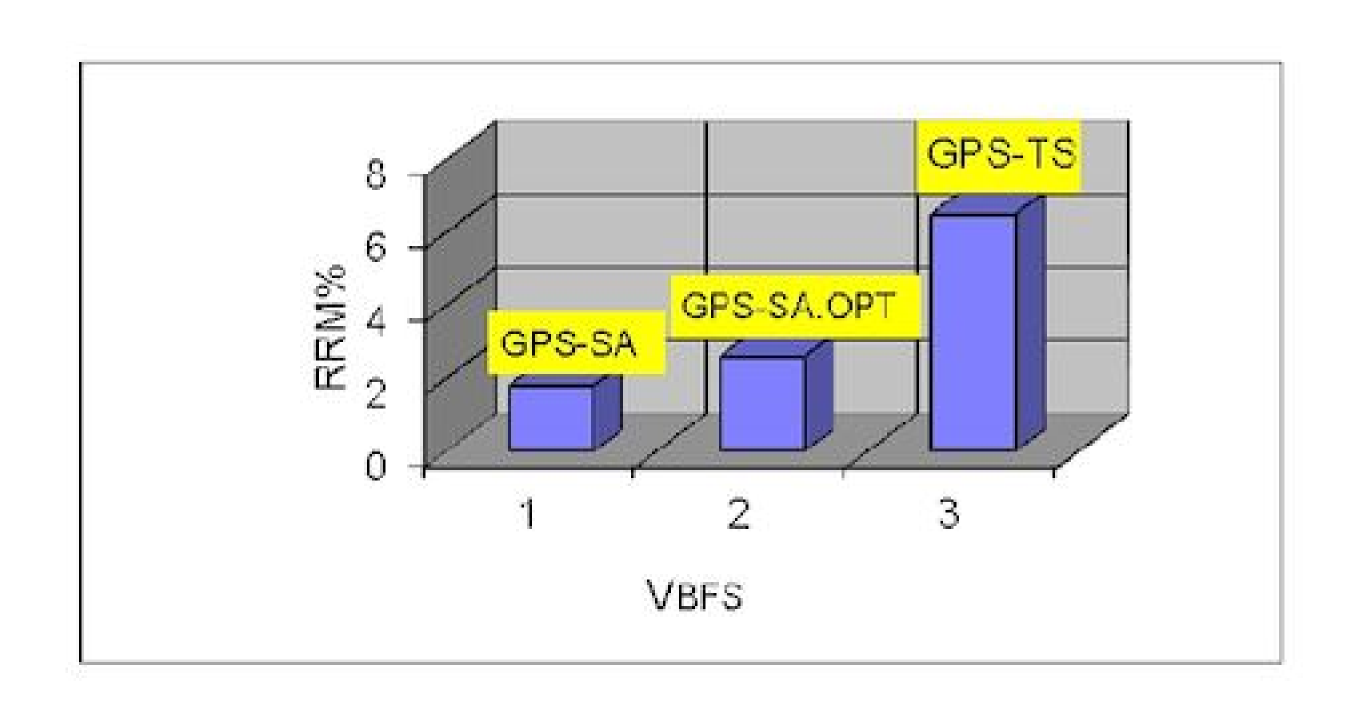
تمَّ عرض نتائج المقارنة بين أداء كل من طريقتي البحث المحظور للجي بي اس والتلدين التجريبي للجي بي اس في الجدول 2.7. إن المدخلات في هذا الجدول هي مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية المحسوبة من البرامج التي تمَّ الحصول عليه بتطبيق كل طريقة، عدد العمليات التكرارية وزمن التشغيل للحصول على أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي. في الشكل الإنشائي لمجموعة البرامج المجاورة المتتالية المستخدم من قبل كلٍ من الطريقتين، إن طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس تجعل عمليات التبريد تستغرق 1700 ثانية في 115920 عملية تكرارية للحصول على أفضل برنامج بقيمة 976 دقيقة. في المقابل، إن الزمن المستغرق من قبل طريقة البحث المحظور للجي بي اس لإيجاد أفضل برنامج بقيمة 933 دقيقة كان 40 ثانية في 20 عملية تكرارية (Saleh and Dare, 2002) وكما هو موضحُ هنا. بمقارنة قيم مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية، فإنه باستخدام طريقة البحث المحظور للجي بي اس تمَّ الحصول على نتائج أفضل وازدادت قيمة المقياس من 2.6 إلى 6.5 بالمئة كما هو موضح بيانياً في الشكل 14.7. تبين المقارنات أعلاه أن طريقة البحث المحظور للجي بي اس هي أفضل طريقة تقريبية لتصميم شبكة الجي بي اس المساحية، سواء فيما يتعلق بجودة البرامج النهائية لتنظيم العمل الحقلي والأزمنة الحسابية اللازمة للحصول على هذه البرامج.

لزيادة أداء طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس تمَّ استخدام مخطط

مقياس التحسين على النتائج الحاصلة من تطبيق معامل التلدين حيث ارتفعت قيمة مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية من 1.8 إلى 2.6 بالمئة ومبين في الجدول 2.7. إن الجهد الحسابي بتطبيق مخطط التلدين التجريبي للجي بي اس ذات الحرارة المثالية (GPS-SA.OPT) لتحسين النتائج هو زمن التشغيل لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس مضافاً إليه الزمن الإضافي المطلوب (D) من قبل المستخدم لتعديل أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه لتنظيم العمل الحقلي. بالنسبة لشبكة الجي بي اس في سيشيلز، إن الزمن المطلوب خمس دقائق وأزمنة التشغيل سوف تكون 2000 ثانية (1700+300 =2000). إن خصائص سلوك كلٍ من طريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور للجي بي اس تمَّ شرحها بالتفصيل في الجزء 7.7 والجزء 8.7 على التوالي.

Technique	VINT	VBFS	RRM%	K	ET
GPS-SA	994	976	1.8	115920	1700
GPS-SA. OPT	994	969	2.6	115920	1700+D
GPS-TS	994	933	6.5	20	40

الجدول 2.7 خلاصة النتائج الحسابية للطرق التقريبِّية المطبَّقة على شبكة الجي بي اس في سيشيلز.



الشكل 14.7 قيم التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية تقابل أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي

ناتج بتطبيق الطرق التقريبِّية المطوَّرة على شبكة الجي بي اس في سيشيلز.

من البيانات العملية التي تمَّ تجميعها في أثناء تنفيذ شبكة الجي بي اس في سيشيلز وتحليلها تقريبياً (تجريبياً) في الجزء السابق فيما يتعلق بجودة برنامج تنظيم العمل الحقلي والجهد الحسابي، تمَّ استخلاص الاستنتاجات التالية. من الملاحظ أن طريقة البحث المحظور للجي بي اس تتمتَّع بقدرة تنافسية عالية وتنتج عموماً أفضل برامج وذلك لأسباب عدة. **أولاً**، لمرونتها في التطبيق. **ثانياً**، إن عدد العمليات التكرارية المنجزة من قبل دورات البحث قد تكون ثابتة لاحقة (posteriori)، بخلاف طريقة التلدين التجريبي حيث إن معامل التبريد تقوم بتحديد زمن التشغيل. من ناحيةٍ أخرى، كانت طريقة البحث المحظور قادرة على الحصول على برامج جيدة لتنظيم العمل الحقلي بكلفة ممتازة ويمكن تنفيذها من أي برنامج للبدء بها، خلافاً لما هو عليه في طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس حيث إن البدء ببرنامج جيد لتنظيم العمل الحقلي هو المهم.

6.7 المقارنة بين حلول الاشكال المختلفة لشبكتي الجي بي اس في مالطا و سيشيلز

يركز هذا الجزء على طريقتي التلدين التجريبي والبحث المحظور المطبقتين على أنواع مختلفة من شبكات الجي بي اس الكبيرة. الشبكة الأولى ذات النوع المضلَّع المثلث المغلق (triangulation (areal) type) والتي تمَّ رصدها في مالطا. الشبكة الثانية ذات النوع المضلَّع الخطي المفتوح (traverse (linear) type) والتي تمَّ رصدها في سيشيلز. تمَّ الأخذ بعين الاعتبار كافة وجهات النظر نتيجة المناقشات الحاصلة سابقاً، ويبدو أنه لا توجد معايير متعارف عليها لإنشاء الاختيار العام لمعامل التحكم التقريبي المناسبة، والتي من شأنها أن تكون جيدة بما فيه الكفاية لجميع الأنواع المختلفة من الشبكات. هذا يعني أن أي صيغةٍ مقترحةٍ يجب التحقق منها تجريبياً. تمَّ تطبيق طرق الجي بي اس التقريبيِّة المطوَّرة والتي تمَّ توصيفها في الفصول السابقة من أجل إيجاد الحلول لنوعين مختلفين من شبكات الجي بي اس ذات أبعاد كبيرة. إن الشبكة الأولى ذات النوع المضلَّع المغلق لمالطا والمكوَّنة من 38 شعاع زمني و25 نقطة مساحية، في حين أن الشبكة الثانية مع النوع المضلَّع المفتوح والمكوَّنة من 71 شعاع زمني و57 نقطة مساحية.

نوع شبكة الجي بي اس المرصودة			طرق الجي بي اس التقريبيّة							
			طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس				طريقة البحث المحظور للجي بي اس			
	U	V_{INT}	V_{BFS}	RRM	K	ET	V_{BFS}	RRM	K	ET
شبكة مالطا ذات النوع المضلَّع المثلث المغلق	38	1405	1355	3.7%	14880	425	1075	30.7%	28	6
شبكة سيشيل ذات النوع المضلَّع الخطي المفتوح	71	994	976	1.8%	115920	1700	933	6.5%	20	40

الجدول 3.7 المقارنة بين الطرق التقريبِّية للجي بي اس المطبَّقة على أنواع مختلفة لشبكات الجي بي اس.

حيث إن: U: عدد الأشعة الزمنية. VINT: البرنامج الأولي. VBFS: أفضل برنامج تمَّ الحصول عليه. RRM: التخفيض النسبي في الزمن الإجمالي لتصميم الشبكة. K: عدد العمليات التكرارية. ET: زمن التشغيل بالثواني.

يزود الجدول 3.7 بعض الأفكار المفيدة في الأداء النسبي لطرق الجي بي اس التقريبِّية التي تمَّ تطبيقها على أنواع وأحجام مختلفة لشبكات الجي بي اس. يتبين أن مقدار الجهد المطلوب للوصول إلى أفضل برنامج لتنظيم العمل الحقلي تمَّ الحصول عليه يعتمد على: عدد الأشعة الزمنية في البرنامج الأولي، ونوع الشبكة المرصودة، وكم هو جيدٌ البرنامج الأولي للبدء. على وجه الخصوص، تقوم هذه الطرق التقريبِّية بفحص ودراسة البنية الطوبوغرافية للشبكة بدقة وتمعن والتي يجب رصدها وفقاً لكيفية تموضع هذه الأشعة في البرنامج الأولي. في الشبكة ذات الشكل المضلَّع المفتوح يتم تبادل الأشعة في اتجاهين اثنين فقط، بينما في الشبكة ذات الشكل المضلَّع المثلثي المغلق فإن التبادل بين الأشعة يتم في كافة الاتجاهات.

تُبين الدراسة التحليلية للنتائج في الجدول 3.7 مزايا طريقة البحث المحظور بالمقارنة مع طريقة التلدين التجريبي والذي يُشير بشكل متكرر إلى عدد المرات التي أنتجت فيها طريقة البحث المحظور أفضل برامج تنظيم العمل

الحقلي لتصميم الشبكة. فيما يتعلق بشبكة مالطا المكوَّنة من 38 شعاعاً، إن مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية (RRM) للبرنامج القريب من المثالي لطريقة التلدين التجريبي للجي بي اس هو 3.7% حيث تمَّ الحصول عليه من خلال تطبيق 14880 عملية تكرارية وبزمن حسابي مقداره 425 ثانية، بالمقارنة مع مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية ذات القيمة 30.7% والتي تمَّ الحصول عليها من خلال تطبيق 28 عملية تكرارية وبزمن حسابي مقداره 6 ثواني لطريقة البحث المحظور للجي بي اس. في شبكة الجي بي اس في سيشيلز المكوَّنة من 71 شعاعاً، إن مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية للبرنامج القريب من المثالي لطريقة التلدين التجريبي هو 1.8% تمَّ الحصول عليه من خلال تطبيق 115920 عملية تكرارية وبزمن حسابي مقداره 1700 ثانية، بالمقارنة مع مقياس التخفيض النسبي في الكلفة الإجمالية ذات القيمة 6.5% تمَّ الحصول عليه من خلال 20تطبيق عملية تكرارية وبزمن حسابي مقداره 40 ثانية (Saleh and Dare, 2002).

كما يمكن ملاحظته، إن كافة تطبيقات طريقة البحث المحظور للجي بي اس تجد البرنامج القريب من المثالي الأقل كلفةً مقارنة مع طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس (كما هو ملاحظ من الجدول 17.7)، مما يدل على المرونة والمتانة العاليتين لطريقة البحث المحظور للجي بي اس والتباين في طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس. بالنسبة لكلا النوعين من الشبكات، تُعطي طريقة البحث المحظور للجي بي اس أفضل الأداء العام من حيث جودة البرنامج وزمن التشغيل، حتى لو كان مطلوب ذلك عموماً بأقل العمليات التكرارية ودون استخدام معلومات محددة عن نوع الشبكة، في حين إن طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس تعطي نتائج غير مستقرة وبزمن حسابي عالٍ جداً. يزداد مقدار الزمن الحسابي اللازم للحصول على البرنامج القريب من المثالي بازدياد أبعاد الشبكة في طريقة التلدين التجريبي. يمكن رؤية هذا التأثير في عمليات تحديد درجة الحرارة الأولية للبدء قبل أن تبدأ عمليات تطبيق التبريد على البرنامج. أيضاً، يمكن ملاحظة هذا التأثير في قيم معامل التلدين التي سوف تزيد من مقدار الزمن الحسابي اللازم كما هو مبين في الجداول 2.6 و1.7. من ناحية أخرى، لم يؤثر حجم الشبكة على معامل الحظر باستثناء قيمة لائحة الحظر (TL) التي تعتمد على عدد الأشعة كما يمكن مشاهدته في نفس الجداول 2.6 (38*38= TL)

و1.7 (TL = 71 * 71). يمكن رؤية هذا التأثير المتعلق بزيادة قيمة لائحة الحظر على الزيادة في مقدار زمن التشغيل (ET) للحصول على أفضل برنامج ناتج باستخدام طريقة البحث المحظور للجي بي اس من 6 ثوان في شبكة مالطا إلى 40 ثانية في شبكة سيشيلز.

تمَّ الحصول على أفضل النتائج للشبكة ذات الشكل المضلَّع المغلق. حيث إنه من الواضح، ونظراً لوجود عدد أكبر من الحالات المتاحة لكل انتقال، فإن قدرة الطرق التقريبِّية للجي بي اس للحصول على تحسين في قيمة البرنامج الخاص بالشبكة ذات الشكل المضلَّع المغلق ستكون أكبر من الشبكة ذات الشكل المضلَّع المفتوح. وهذا يعود جزئيا لنوع الشبكة ذات الشكل المضلَّع الخطي، فالبرنامج الأولي من المرجح أن يكون أقرب إلى البرنامج المثالي أكثر منه في الشبكة ذات الشكل المضلَّع المغلق ويرجع ذلك إلى العدد المحدود للخيارات المناسبة للبرامج. وهكذا، يمكن الحصول على أفضل برنامج لشبكة الجي بي اس المساحية باستخدام الطرق التقريبِّية المطبَّقة على الشبكات ذات الشكل المضلَّع المغلق. إن التشكيل النهائي للبرنامج الناتج للشبكة ذات الشكل المضلَّع المغلق بهذا الأسلوب كان في جودة قابلة للمقارنة مع النتائج الحاصلة من زمن التصلب الأكثر استهلاكاً للزمن لدرجات الحرارة العالية باستخدام الشبكة ذات الشكل المضلَّع المفتوح.

7.7 الاستنتاج

بالنظر إلى الشبكات التي تمَّ تصميمها باستخدام الطرق التقريبِّية المطوَّرة، نرى أنَّ جميع استراتيجيات طريقة البحث المحظور للجي بي اس تتفوق بوضوح على طريقة التلدين التجريبي للجي بي اس. وكان الاستنتاج الرئيسي بأن الأداء، من وجهة نظر المتطلبات الحسابية وجودة برنامج تنظيم العمل الحقلي، يعتمد بقوة على الطريقة التقريبِّية للجي بي اس المستخدمة لحل الشبكة. بالنسبة للشبكات ذات الأبعاد الكبيرة، حيث تمتلك مجموعة البرامج المجاورة عدداً كبيراً من الأشعة (شبكة الجي بي اس في سيشيلز)، أو بالنسبة للشبكات حيث تكون هذه الأشعة مكلفة لدراستها واختبارها (شبكة الجي بي اس في مالطا)، فإن الطبيعة الهجومية (Aggressive) لطريقة البحث المحظور تجعلها في غاية الأهمية بأن تعزل مجموعة فرعية من الأشعة وتدرسها لتجنب الكلفة الحسابية لتقييم الانتقالات لكامل مجموعة البرامج المجاورة كما هو الحال في طريقة

التلدين التجريبي. إن تطبيق طريقة البحث المحظور، بالإضافة إلى مرونتها، تُخفض من التعقيدات الحسابية المتأصلة في طريقة التلدين التجريبي وإنه يمكن تعديلها على نحو أفضل تبعاً لنوع الشبكة.

الفصل الثامن

التطبيقات المهمة المبنية على البحث العلمي والتطوير التقاني لمنظومة الإنذار المبكر للكوارث باستخدام الخوارزميات الجينية

1.8 مقدمة

يهدف هذا البحث إلى التعريف بأهمية استخدام هذه المنظومة المتطورة في إدارة الكوارث حيث إن الأخطار التي تحدث باستمرار يمكن أن تتحول إلى كوارث مدمرة. وإن معظم هذا التدمير والتخريب يحدث بسبب الجهل بالتعامل مع هذه الكوارث أو لعدم التهيؤ لمواجهتها في أي لحظة، ولهذا يجب التعرف على أنواع المخاطر المختلفة وتصنيفها ومتى يكون الحدث الطبيعي خطراً وكيف يمكن أن يتحول الخطر إلى كارثة أو أزمة، ومتى تمت معرفة ذلك فأنه بالإمكان فهم الحاجات العملية للاستعداد وعمل الاحتياطات والتدابير اللازمة لحالات الطوارئ ومواجهة الكوارث وإداراتها ودرء خطرها المتزايد والتأثيرات المؤثرة الناجمة عنها. يعالج هذا الفصل مفهوم البحث العلمي وسماته ومقوماته، وضرورة تبني البحث العلمي والتطوير التقاني في معالجة الكوارث. أيضاً يشرح المبدأ العام لعمل النموذج الديناميكي لمنظومة البحث العلمي والتطوير في تسريع عمليات البحث عن البيانات المختلفة والضرورية ومعالجتها ديناميكياً للحصول الآني على الحلول الناجعة لإدارة الكوارث. يعرض الفصل أيضاً التطبيق المفصل لمنظومة البحث العلمي والتطوير التقاني في دارسة مراحل

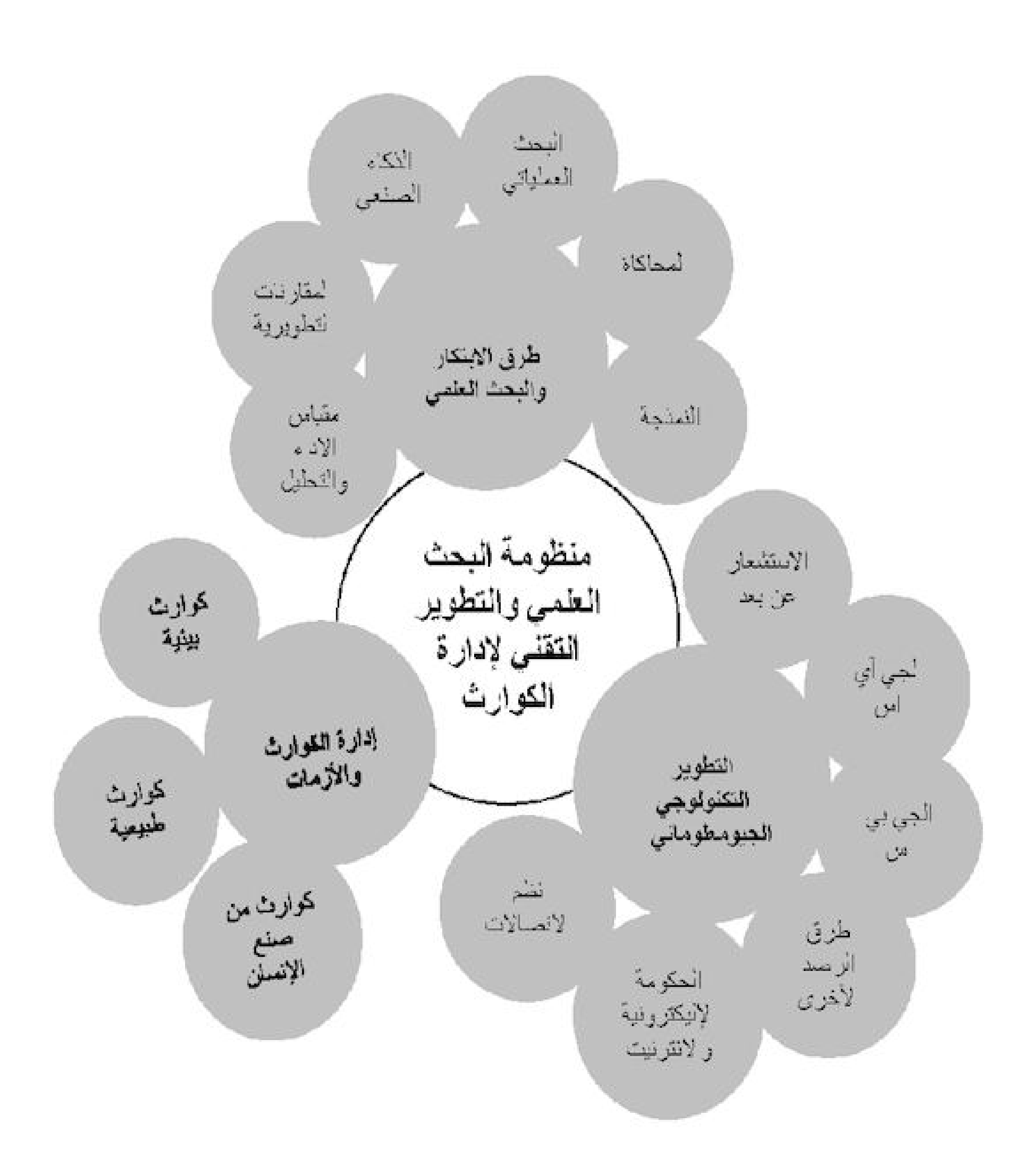
حدوث التسونامي وكيفية تطبيق الخوارزمية الجينية في تسريع الحصول على المعلومات وتصغير الوقت الحسابي لمعالجة البيانات وزيادة وقت الإنذار والتجاوب مع خطر التسونامي ومن ثم تعميمها على حالات دراسية أخرى.

2.8 منظومة البحث العلمي والتطوير التقاني لإدارة الكوارث

يُعرف البحث العلمي وفقاً لمفهوم إدارة الكوارث بأنه عبارة عن عملية دقيقة ومنظمة لتقصي كافة الحقائق والمفاهيم المتعلقة بالكارثة والدراسة العميقة والحقيقية الناقدة لتصنيفها وتحليلها لإظهار مسبباتها والتغلب على الصعوبات التي يمكن مواجهتها ووضع ما يناسبها من حلول وذلك باتباع أفضل الأساليب العلمية الصحيحة والتقنيات الحديثة. أيضاً يمكن تعريف البحث العلمي بأنه استقصاء منهجي في سبيل إجراء التعديلات الجديدة للمعلومات السابقة عن تطورات وتحولات الكارثة بهدف تصحيحها واستمرار تطورها أو زيادة مجموع المعرفة والنشاطات التي تعتمد المعارف والخبرات والأفكار كمدخلات تكون مخرجاتها أو نتائجها معرفة جديدة أو توسيع لمعرفة قائمة أو تطوير لأدوات وتقنيات لمعالجة الكارثة وتحقيقها تحقيقاً علمياً دقيقاً وبالتالي تطويرها للوصول إلى اكتشافات جديدة أو تفسير الظواهر الطبيعية والتنبؤ عنها. فالخلاصة يمكن تعريف منظومة البحث العلمي المبنية على التطوير التقاني والابتكار لإدارة الكوارث كما هو موضح في الشكل 1.8 بأنها الاستخدام المنظم والدقيق للفكر البشري لمعالجة أسباب حدوث الكوارث بكافة أنواعها ومن ثم التوصل إلى حلول عملية مبنية على أحدث الأجهزة والتقنيات لمواجهتها أو للتخفيف من آثارها. فالباحث يستخدم المنهج والتفكير العلمي في دراسة الظواهر المختلفة للكارثة ويجمع بياناتها ثم يصنفها ويحللها في ضوء كافة المعطيات والنظريات والفروض المحددة ليستطيع الإحاطة الشاملة بمعرفة كل الجوانب المختلفة للكارثة واتباع المنهج العلمي بما يتسم به من موضوعيه ودقة وصحة والتي تسمح بالتأكيد تتبع إمكانية التنبؤ عن التصرف الفعلي للكارثة خلال كل مراحل إدارتها وإيجاد الحلول الناجعة والطرق العلمية لمعالجتها على أسس قويمة.

تتسم هذه المنظومة بعدة سمات: 1) جمع المعلومات من المصادر الأولية والثانوية واكتشاف العلاقات السببية بين متغيرات الكارثة بما يساعد على فهم

وإيجاد الحلول المناسبة لها، 2) التوصل إلى تعميمات أو مبادئ أو نظريات تساعد علي فهم ظواهر حدوث الكوارث والتنبؤ عنها، 3) استخدام أحدث الأجهزة والتقنيات للتجريب في الحوادث التي تسمح بذلك (كالدراسات المخبرية لتصرفات الزلازل) والملاحظة الدقيقة والوصف الموضوعي واستخدام القياس الكمي والنوعي فالبحث العلمي يبدأ بخطة وينتهي بنتائج تجيب عن تساؤلاته. 4)



الشكل 1.8: المنظومة المتكاملة للبحث العلمي والتطوير التقاني والابتكار في إدارة الكوارث

الإلمام بأدبيات ومصطلحات ومفاهيم البحث العلمي والموضوعية والالتزام بالمنطق لإثبات صحة فروضه ويتطلب صبراً ومثابرة من القائمين عليه. أما أهم المقومات الأساسية لهذه المنظومة فتتكون من: أفراد علميون ومؤهلون وقادرون على ممارسة البحث العلمي، التجهيزات الضرورية

والمخابر والمعاهد البحثية والموارد والخامات، المعلومات العلمية المتصلة بنتائج البحث وغيرها من الاكتشافات والابتكارات وما يتطلبه ذلك من توافر مصادر المعلومات والتمويل اللازم والتنظيم الإداري المتحرر الذي يساعد على أداء الأعمال ويكفل الإثابة والحوافز المادية الملائمة ويهيئ مناخاً سليماً للعمل والعطاء بكفاءة.

يحتل البحث العلمي والتطوير التكنولوجي في مجال إدارة الكوارث وتوطينهما ودعمها مادياً ومعنوياً مكانة مهمة في سلم الأولويات والاهتمامات لجميع الدول وخاصة الدول المعرضة للكوارث كاليابان وذلك لان التقدم في هذا المجال تنعكس نتائجه بشكل مباشر أو غير مباشر على مستوى التقدم في مواجهة الكارثة وتخفيف آثارها. فاليابان كمعظم دول العالم تعطي أهمية خاصة للبحث العلمي من خلال توفير الإمكانات المادية والبشرية اللازمة وإعداد الكفاءات المؤهلة وتدريبها على أحدث الأساليب العلمية والتقنية لتحقيق أهداف التنمية المستدامة الشاملة التي تلعب العامل الرئيسي في إدارة الكوارث. تنتهج هذه الدول المتقدمة المعالجة المثالية لإدارة الكوارث التي ترتكز على كل من مجتمعي المعلومات والمعرفة ودور الآليات المتطورة في إدارة الكوارث كتحديد دور مكونات المقارنات التطويريه الإلكترونية للأداء بالأساليب الرقمية، إلخ. حيث تساعد هذه المقارنات جميع العاملين في مجال الكوارث بما فيهم أصحاب القرار في إدارة الكارثة على الفهم الدقيق للعلاقات بين الأسباب والنتائج، والتمييز بين الأهداف الإستراتيجية والأهداف الفرعية وتحليل الفجوة في الأداء بين النموذج المثالي والأداء المحلي للكارثة، وتوفير الأطر العامة الموحدة لاقتراح العلاجات والمانعات للكوارث المستقبلية، إلخ. تتمثل الآليات المعروفة في إدارة الكوارث بمبادئ وأساليب متعددة ومتنوعة: كمبدأ التجربة والخطأ، ومبدأ ردود الفعل، ومبدأ المحاكاة والنمذجة، ومقياس محدد للأداء (e-Benchmarking) بمعايير متفق عليها وهو عبارة عن منهج إلكتروني فوري لاختبار أسلوب معالجة الكوارث مع النموذج المثالي، وقياس وتحليل الفجوة فورياً، وتحديد مجالات التحسينات والتطويرات. أما مجتمع المعلومات ودور ومبدأ الحكومة الإلكترونية والحوكمة الإلكترونية، في إدارة الكوارث فيتمثل بثورة الإنترنت التي توفر معلومات عن الكوارث في أي مكان وفى أي وقت من خلال تأمين: قاعدة بيانات عن الكوارث وقاعدة

بيانات أخرى خاصة بالخبراء والمعاونين في مجال إدارة الكوارث، إلخ. في حين يتمثل دور مجتمع المعرفة بالمقارنات التطويرية الإلكترونية في الإنذار المبكر ومرشدات وتكنولوجيا معلومات إدارة الكارثة من خلال بناء وتحديث قواعد بيانات وتكوين نظام معلومات الكوارث واستخدام الإنترنت وإنشاء موقع على الإنترنت لتبادل المعلومات لدعم التوجهات، واستخدام البريد الإلكتروني واستخدام الشبكات المحلية للمعلومات (LAN)، ودعم القرارات وإجراء التحسينات المستمرة في علاجات الكوارث، والتنبؤات والنماذج والمؤشرات، إلخ. يؤكد هذا البحث على أهمية وضرورة الإستراتيجية العملية المبنية على البحث والتحليل العلمي والتطوير التقاني والابتكار في دعم إدارة الكوارث وتخفيف آثارها من خلال استخدام النموذج الإلكتروني للمقارنات التطويريه، وتحديد معايير الأداء النمطية (Best Practices)، وتبني التفكير العلمي، واتباع المنهج المنطقي للحصول على النتائج الصالحة للتعميم ومن ثم إيجاد الحل المثالي لإدارة الكوارث. إن الإدارة السليمة لمنظومة البحث العلمي والتطوير بما تتضمنه من تخطيط وتنظيم وآليات عمل، تشكل نقطة التلاقي بين المكونات الجوهرية للأسس أو الدعائم لإدارة الكوارث بشكل مثالي وهي البحث والباحث وأداة البحث.

3.8 الأخطار والكوارث وضرورة تبني منظومة البحث العلمي والتطوير التقاني في معالجتها

تتنوع مصادر الخطورة (Hazards) التي تتعرض لها البلاد وفقاً لشدتها ونوعيتها وحجمها كما تختلف طبقا لتأثر قطاعات البلاد بها ولذا يمكن تعريف الخطر (Risk) بأنه حدث نادر أو مفاجئ أو محتمل لكن بالغ الشدة يؤثر بشكل ضار على الأرواح والممتلكات إلى درجة التسبب في كارثة (Disaster). أما درجة التعرض للخطر أو الهشاشة أو قابلية الإصابة (vulnerability) فهي مقدار الخسائر الناتجة عن حدوث خطر ما .وبالتالي فالكارثة هي مجموع الخطر ودرجة تعرض للخطر. يمكن تصنيف المخاطر بشكل عام حسب أسبابها الطبيعية أو البشرية إلى مخاطر طبيعية (Natural Hazards) كالهزات الأرضية والبركانية والفيضانات وغيرها من الكوارث والأحداث الطبيعية التي تحدث نتيجة لعوامل طبيعية فقط، ومخاطر بيئية (Environmental Hazards)

تحصل نتيجة للتفاعل بين الإنسان والبيئة، ومخاطر من صنع الإنسان (Man-Made Hazards) تحدث نتيجة لتصرف الإنسان ونشاطاته المختلفة كالتسرب الإشعاعي من محطات الطاقة النووية. يمكن تصنيف الأخطار الطبيعية إلى نوعين رئيسيين:1) الأخطار الجيوفيزيائية كالجيولوجية والجيومورفولوجية (كالانهيارات الثلجية والزلازل والانزلاقات الأرضية، إلخ)، والمناخية والميتورلوجية (كالعواصف الثلجية والجفاف والفيضانات والموجات الحارة والحرائق، إلخ). 2) الأخطار البيولوجية كالنباتية (كصدأ القمح ومرض الصنوبر والذبابة البيضاء، إلخ)، والحيوانية (كالفيروسات والبكتريا الضارة والقوارض، إلخ). إن الفرق في المفهوم بين الأزمة والكارثة يؤدي إلى معالجات غير سليمة لكل منهما وهذا يتطلب توضيحاً لهذه المفاهيم المختلفة. فالأزمة (Crisis) هي خلل مفاجئ نتيجة لأوضاع غير مستقرة يترتب عليها تطورات غير متوقعة نتيجة عدم القدرة على احتوائها من قبل الأطراف المعنية وغالباً ما تكون بفعل الإنسان ويمكن التنبؤ عنها وإن عنصر المفاجأة فيها تصاعدي. أما الكارثة (Disaster) فهي حادثة كبيرة ينجم عنها خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات وتلوث البيئة وقد تكون طبيعية (Natural Disaster) أي مردها فعل الطبيعة مثل الفيضانات والزلازل، وقد تكون كارثة فنية (Technical Disaster) ومردها فعل الإنسان سواء كان إرادياً (عمداً) أو لا إرادياً (بإهمال) وتتطلب لمواجهتها معونة الوطن أو على المستوى الدولي إذا كانت قدرة مواجهتها تفوق القدرات الوطنية وذلك وفقاً لحجم الكارثة ومدى الخسائر التي تنجم عنها ومن الصعوبة التنبؤ عنها وإن عنصر المفاجأة فيها كامل (تسونامي 2004). فمثلاً الزلازل هي ظاهرة طبيعية (أو عملية جيولوجية) مرتبطة بطبيعية الأرض وتكوينها الداخلي. يمكن قياس الكوارث على أساسين: الأول فيزيائي كقياس قوة الطاقة الناتجة عن الحدث مثل مقياس الانزلاقات الأرضية وقياس ريبوفورد لقياس قوة الرياح ومقياس ريختر لقياس قوة الزلازل (Richter,1958)، والثاني على أساس موضوعي لقياس آثار الكارثة على الإنسان وممتلكاته وبيئته كمقياس شيهان وهيوت ومقياس برادفورد (المدهري 1429هـ). يجب استخدام كلا المقياسين في إدارة الكوارث لأنهما يكملان بعضهما البعض وهذا لا يمكن تحقيقه إلا في منظومة متكاملة للبحث العلمي والتطوير التقاني.

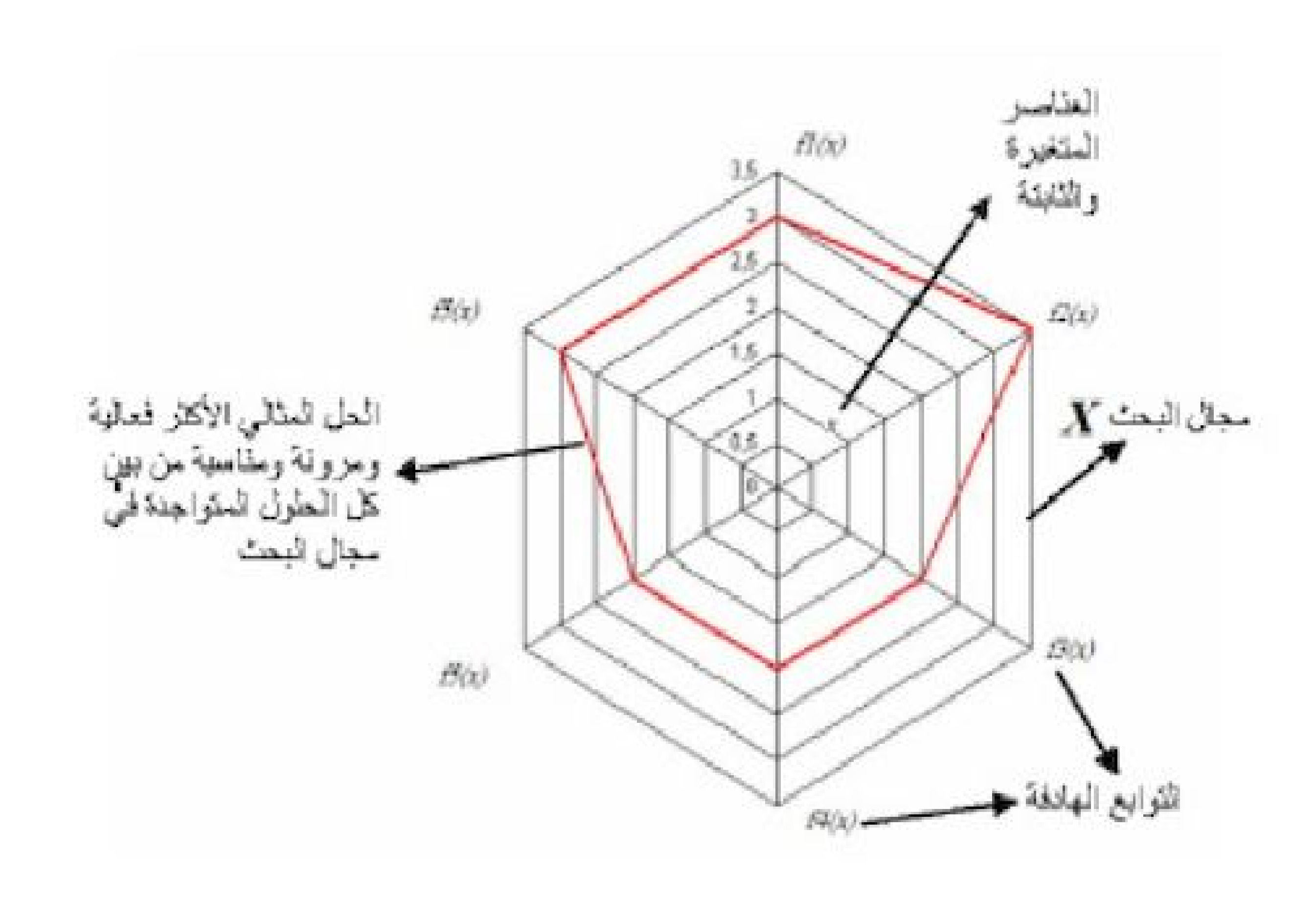
ضرورة استخدام المنظومة في إدارة الكوارث

إن آثار الكوارث وتعاقبها تتزايد باستمرار في شتى أنحاء العالم، مع ما يصحب ذلك من أن البلدان المتأثرة تتحمل أعباء مفرطة من حيث الخسارة في الاستثمار وتكاليف الأعمار وفقدان الدخل واضطراب النشاط الاقتصادي، ناهيك عن ذكر الخسائر في الأرواح. بيد أنه من الممكن الحد من الخسائر المقترنة بالكوارث المقبلة، وذلك بتضمين منظومة البحث العلمي والتطوير التقاني في صلب التخطيط الإنمائي الشامل وأي تدبير من تدابير الحد من الكوارث سيكون قاصراً ما لم يقترن بالمنظومة. فأهمية البحث العلمي والدور الفعّال الذي يلعبه العلم والتكنولوجيا بدءاً من تحديد الكارثة ووصفها وتقييمها بشكل إجرائي واختيار منهج وأسلوب جمع المعلومات وتحليلها واستخلاص النتائج التي تستخدم لتغذية قواعد البيانات يساعد على إضافة المعلومات الجديدة وإجراء التعديلات للمعلومات السابقة بهدف تصحيحها وتحديثها واستمرار تطوريها بغية رفع الأداء وتقليل الكلفة. فمثلاً يجب إجراء الدراسات العميقة والتحليلية لمعرفة الدول الزلزالية في الوطن العربي وذلك لان الصحيفة العربية يحيط بها العديد من الأحزمة الزلزالية الناتجة عن تحرك الصفائح وإن معظم دول الخليج العربي تُعتبر من المناطق التي لا تتوفر فيها معلومات أو دراسات زلزالية كافية، وعلى الرغم من قلة النشاط الزلزالي في معظم المناطق إلا أن قربها من المناطق النشطة زلزالياً في إيران وتركيا والبحر الأحمر يتطلب إجراء دراسات زلزالية مستفيضة لتحديد مكامن الخطورة الزلزالية بدقة متناهية وهذا ما تحققه المنظومة. أما بالنسبة للفيضانات فتتعرض معظم الدول العربية سنوياً لها نتيجة موقعها الجغرافي والمناخ السائد بها والتقلبات الجوية الناتجة عن ذلك. لقد تم تسجيل 54 فيضاناً خطيراً ضرب العديد من دول العالم العربي بين سنوات 1964 و2001 (كالجزائر وتونس والمغرب والسودان واليمن إلخ) وقد خلفت هذه الكوارث الطبيعية لوحدها ما يقارب 180.000 ضحية بشرية هذا فضلاً عن الخسائر المادية التي تقدر بعشرات المليارات من الدولارات. حتى الوقت الحاضر، تعتبر مواجهة كارثة الفيضانات والحد من تأثيرها ومراقبة التحكم بتلوث المياه الجوفية والسطحية في أثناء الفيضان عمل معقد وصعب حيث تتم بالوسائل اليدوية ونصف آلية ومعظم البيانات والمعلومات يُحصل

عليها من المواقع الثابتة ومحطات المراقبة الأرضية (Terrestrial Monitoring Stations) والتي تزود فقط صورة جزئية عن الوضع العام لتلوث المياه بسبب نقص التمثيل الفراغي (Spatial Representation) لمصادر تلوث المياه بالإضافة إلى أن عملية المراقبة مكلفة جداً وإن كثافة نقاط المراقبة محدودة في بعض أجزاء الإقليم. إن المعالجة المثالية والفعالة تتطلب إجراء دراسات وأبحاث جديدة مبنية على مفاهيم منظومة البحث العلمي والتطوير من خلال تحليل أسباب وتأثير والحد من خطورة هذه الفيضانات حيث يمكن للمنظومة أن تعالج كافة هذه الأسباب مجتمعة.

وعلى المستوى العالمي، فإن ظاهرة تغيير المناخ ومفهوم التغيرات المناخية ومظاهرها التي أصبحت حقيقة واقعة تتطلب الاتجاه نحو البحث والاثار التي تؤدي إلى كوارث ومخاطر على الإنسان والبيئة. يوصف التغير المناخي بأنه «حدوث تغير أو تحول في الخصائص المناخية العادية أو السائدة في منطقة ما مما يؤدي إلى حالة غير طبيعية يمكن أن يترتب عليها آثار ضارة بالبيئة والإنسان» أو بأنه حدوث خلل في توازن مكونات الغلاف الجوي وهنا تتبين أهمية منظومة البحث العلمي في تأمين كافة سيناريوهات التغيير المناخي كسيناريو الجفاف وسيناريو الرطوبة التي لا يمكن تأمينها إلا بالبحث العلمي. أما فيما يخص عملية التحكم بتلوث الهواء أو الماء، فمن الواضح أنها تتطلب فهم التغير الجغرافي للملوثات والحصول على المعلومات حول مستويات التلوث الآني والمباشر (Real Time) في المواقع غير المزودة بنقاط المراقبة وهذا يتطلب التقاطع الخارجي للبيانات (Extrapolation The Data) من محطات المراقبة إلى أبعد منطقة في الإقليم لكي يتم نمذجة ورسم التغيرات الفراغية (Spatial Distributions) للتلوث. بالإضافة، فإن عمليات التنبؤ عن العناصر الفيزيائية (Physical Parameters) وتأثير التلوث تكون بشكل رئيسي محلية وغالباً متغيرة بشكل على مسافات قصيرة. فالمعرفة التفصيلية للمساهمة النسبية لكافة مصادر التلوث المختلفة (كالزراعية والمنزلية والصناعية والمخلفات الأخرى، إلخ) تكون مهمة جداً في الحصول على الفائدة القصوى من استخدام الوسائل المتنوعة والمختلفة في عمليات ضبط تلوث المياه حيث إن عمل كل وسيلة يتم تصميمه واستخدامه وفقاً لكل نوعية وطبيعة كل مصدر. تتناول الفقرة التالية الخصائص الرئيسية للنموذج الديناميكي لمنظومة البحث

العلمي والتطوير التقاني المتكاملة للحصول السريع على المعلومات الضرورية وتأمين الحلول المثالية لمعالجة كافة الكوارث بما فيها التلوث البيئي بأنواعه.



الشكل 2.8 المعالجة المثالية لدراسة الكارثة وفق منظومة البحث العلمي والتطوير التقاني

4.8 النموذج الديناميكي لمنظومة البحث العلمي والتطوير في إدارة الكوارث

إن استخدام التقنيات الحديثة والمنهج العلمي يعتبر أحد الأساليب التحليلية لتقييم وطرح الحلول البديلة والكفيلة برفع الأداء وتقليل التكلفة. تُعرف الكوارث وفقاً لمفهوم التحسين الميتاهيروستيكي الديناميكي بأنها مشاكل أو مسائل آنية (Real Time Problems) مكونة من دالات هادفة متعددة (multi-objectives) ومتناقضة وغير متجانسة ومتداخلة فيما بينها لتؤلف مجموعة غير متناهية من الحلول الموزعة على مجال بحث معقد Complex) (Search Domian. علاوة على ذلك، فإن الكم الهائل من البيانات المجمعة لمعالجة هذه الكوارث يتزايد باطراد وهذا ما يستلزم البحث عن طرق البحث المتقدمة والآلية لنمذجة هذه البيانات بأسلوب فعال ومتناسب واقتصادي وسريع بنفس الوقت. تستطيع منظومة البحث العلمي والتطوير التقاني في أثناء معالجة هذه الكوارث وبنفس الوقت استخدام عدد كبير من التوابع الرياضية (functions) القادرة وبمرونة مناسبة على تشكيل الحلول المثالية بشكل سريع مع الأخذ بالحسبان باستمرار الحالة المتغيرة للبيانات تحت التأثيرات

والظروف المتغيرة المواكبة لهذه الكوارث. يتم صياغة هذه المسائل لمعالجتها كما موضح تخطيطيا في الشكل 2.8 وتفصيلياً بالنموذج الديناميكي للمنظومة الممثل بالمعادلة الرياضية (1) كمايلي:

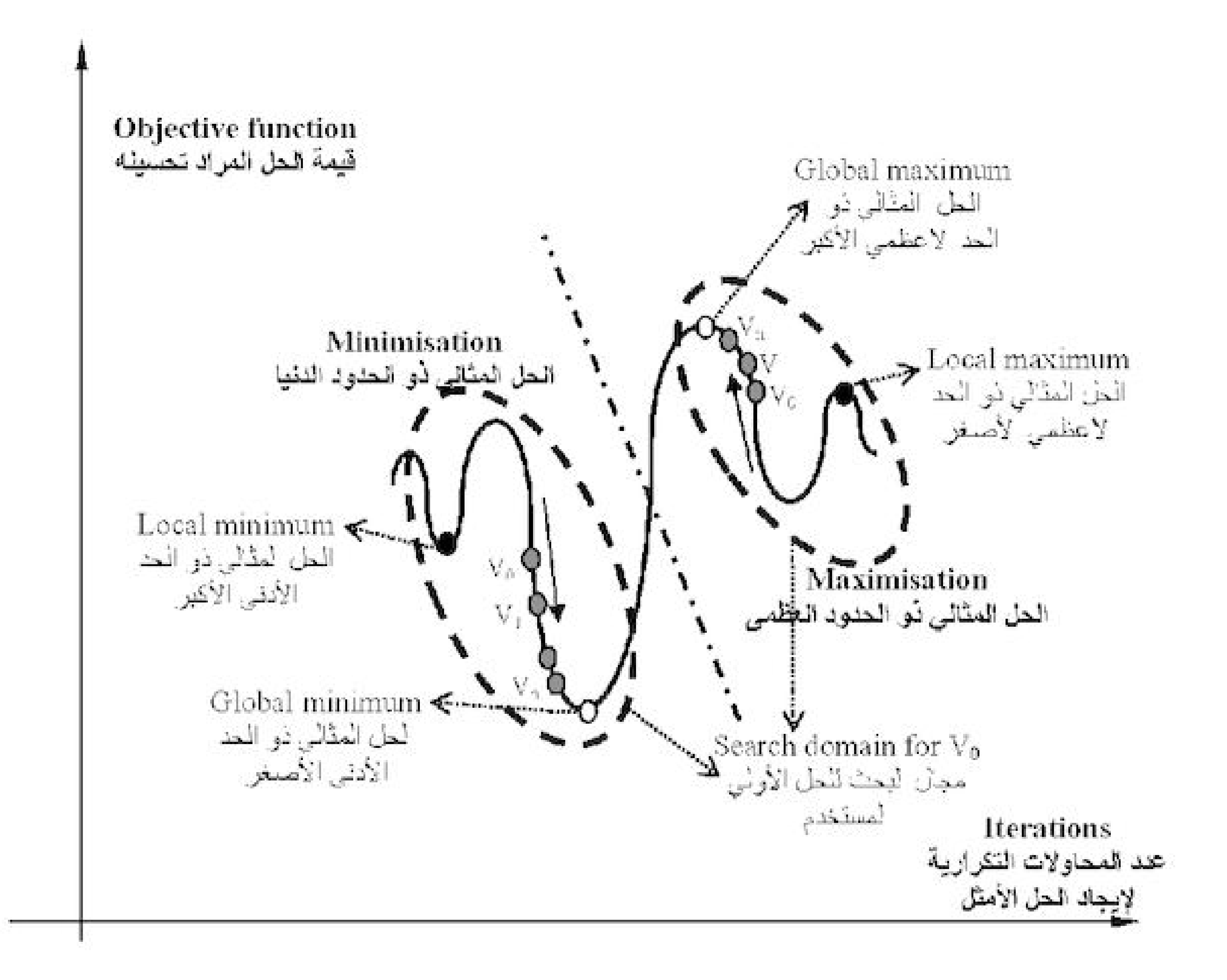
(1)

$$Network_{MOP} = optimize : f(x) = \{f_1(x), f_2(x), .., f_n(x)\} \; subject \; to \; \; x = (x_1, x_2, .., x_n) \in X$$

يمثل fi(x) عدد التوابع الهادفة المراد تحسينها (زمن الإنذار أو التجاوب أو الكلفة أو الدقة، إلخ) والتي يمكن دراستها سوية بنفس الوقت باستخدام المنظومة التي تعطي النظرة العامة والواضحة عن الوضع العام لمعالجة الكارثة بعكس الطرق التقليدية الحالية التي تكون معالجتها جزئية وتقتصر على تابع واحد. أما (X) فتمثل مجال أو فضاء البحث (Research Domain) الذي يحوي كافة الحلول المحتملة والذي فقط باستخدام المنظومة يمكن الحصول عليها بهذه الوضعية الشاملة، و(x) مجموعة العناصر أو العوامل المتغيرة (Variables) التي تتحكم بعمل التوابع الهادفة (كالعناصر المتعلقة بالزلازل مثل الشدة والاتجاه والسرعة والعوامل الأخرى كالجيولوجية، إلخ). والهدف المراد من عملية التحسين (Optimise) هو دمج جميع العوامل الثابتة والمتغيرة للتوابع الهادفة في النموذج الديناميكي للمنظومة لإيجاد الحل المثالي الأكثر فعالية ومرونة ومناسبة من بين كل الحلول المتواجدة في مجال البحث والمكون من عدد غير متناهي من الحلول. كما هو موضح في الشكل 3.8 يبدأ النموذج عمله باختيار أو تشكيل الحل الأولي (V0) من مجموعة الحلول المحتملة ثم يقوم بتطبيق عمليات التحسين بتقاطع وتبادل عناصر الحل مع بعضها البعض بغية إيجاد حل جديد (V1) أفضل من الحل السابق (V0). يُكرر النموذج تطبيق عمليات التحسين على الحل الجديد الناتج في كل مرحلة بهدف إيجاد أفضل حل نهائي (Vn) ممكن لهذه الكارثة. تتوقف عمليات التحسين فور الحصول على الحل الأكثر مناسبة للشروط المحددة مسبقاً. فالهدف الرئيسي للنموذج الديناميكي لعمل المنظومة تكوين الصيغة الفعالة لتطبيق عمليات البحث المحلي (Local Search) على الكارثة المراد معالجتها بغية تحسينها وإيجاد الحل الأكثر مناسبة من بين مجموعة الحلول الممكنة ومن ثم تحسين فعالية هذا الحل إلى أقصى حدود الإمكانية.

إن الصفة الأكثر تميزاً لنموذج المنظومة هو إحاطته الشاملة للحالة التكاملية

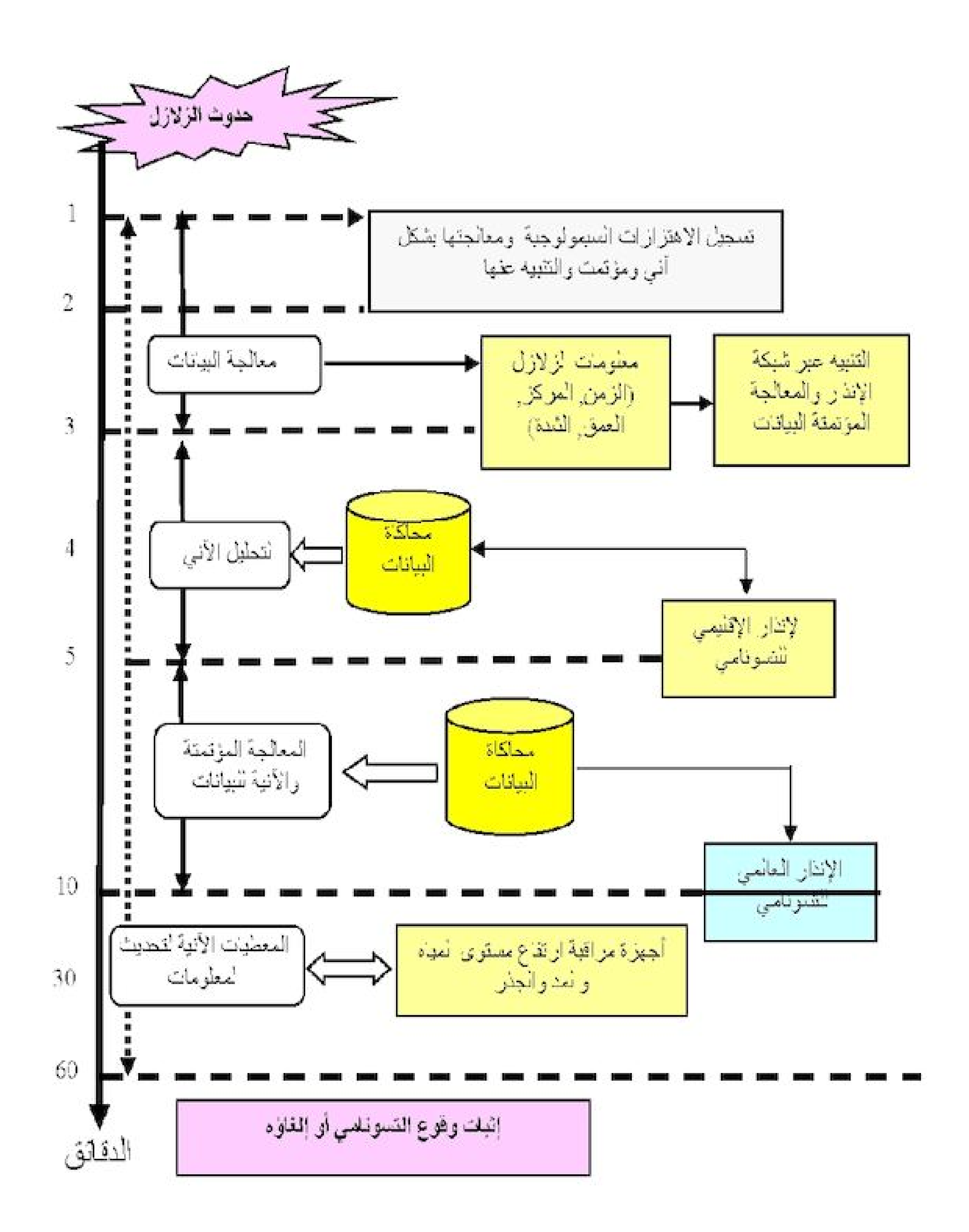
لتجميع البيانات البيئية والجغرافية وأدوات تنظيم البيانات مع أدوات القرار والمحاكاة في المعالجة المثالية لإدارة الكارثة وتخفيف خطرها وهذا يُسمح للشخص المبرمج (Modeller) بأن يطور المواصفات الدقيقة وغير المبهمة التي ستساعده بقوة في تقدير وتقييم كافة تأثيرات الكارثة والتي من غير الممكن حتى للمصمم المحترف أن يجد الحل المثالي بالطرق الحالية التقليدية غير القادرة على تأمين التمثيل الفراغي لكامل الوضع وتنقصها القدرة على اختيار البيانات الضرورية لتحسينها. تسمح المنظومة المطورة في هذا البحث للعامل التقني (Technical User) بالقدرة على اختيار أفضل حل ممكن من بين مجموعة الحلول الناتجة آخذاً بعين الاعتبار جميع العوامل الثابتة والمتغيرة وتناقضاتها، وإن الحل النهائي يجب أن يتمتع بالصفات الآتية: 1) أن يكون آلياً أو أتوماتيكياً (Robust) بحيث يقوم بكامل الوظائف المرجوة تحت تأثير جميع الشروط البيئية، 2) مستدام (Sustainable) بحيث أن لا يكون مثالياً فقط تحت تأثير الشروط الحالية، بل أيضاً باعتبار التغيرات المحتمل حدوثها والمتنبئ عنها، 3) مرن (Flexible) بحيث يسمح بسهولة قبول التعديلات بعد تغير البيئية خلال وبعد حدوث الكارثة.



الشكل 3.8 مفهوم البحث المحلي والتحسين (ذو الحدود العظمى والدنيا) في إيجاد الحلول المثالية

يعتمد النموذج الديناميكي (Dynamical Model) على التقنيات المعلوماتية المستندة على طرق البحوث العملياتية (Operational Research) ومبادئ الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence وطرق التحسين المثالي للمعطيات (optimization) والنمذجة (modelling) والمحاكاة (simulation)، إلخ. تتصف هذه التقنيات بقدرتها الديناميكية ومرونتها المناسبة على التعامل مع العوامل الثابتة والمتغيرة الخاصة بمعطيات قاعدة البيانات المركزية (discrete and continuous parameters) حيث تساعد هذه التقنيات النموذج الديناميكي في أثناء عمليات التصميم على الانتقاء السريع والفعال للبيانات الأساسية (من بين مجموعة البيانات الكثيرة المكونة لقاعدة البيانات) ومن ثم تقاطع وتبادل هذه البيانات فيما بينها وتنقيتها للحصول على الحل المثالي واستمرارية الحفاظ على فعاليته خلال جميع مراحل إدارة ومراقبة الكارثة (كالفيضان). وبالتالي إنتاج السيناريوهات المتنوعة التي تعكس آنياً وباستمرار الوضع الحقيقي (continuous and real time) والتمثيل الفراغي لشكل الفيضان والخطر المتوقع علماً أن الطرق التقليدية بوضعها الحالي تفتقر وتنقصها القدرة على ذلك.

يدعم هذا النموذج الديناميكي للمنظومة أصحاب ومتخذي القرار عند إدارة كارثة الفيضان من خلال:1) تكامل المعلومات والعلم والتكنولوجيا، 2) استخدام الأنظمة المعلوماتية والجيومعلوماتية المتطورة في عمليات الرصد وجمع البيانات وتصنيفها واستنباطها وتحليلها لمراقبة المؤشرات وتقييم الشروط البيئية وبالتالي تعيين تقديرات درجة التعرض للخطر، 3) استخدام تقنيات البحث الذكية في العمليات الاحتمالية والتنبؤ عن تصرف الفيضان وبالتالي تحديد الأساليب الفعالة لمواجهة وتقليل الخطر إلى حدود الإمكانية، 4) اعتماد شبكات اتصالات متطورة في نقل وإيصال المعلومات آنياً لاتخاذ القرارات في الزمن والمكان المناسبين. تتناول الفقرة الآتية تطبيق هذه المنظومة في دراسة كارثة أخرى وهي التسونامي وذلك باستخدام كافة العناصر والتوابع المتعلقة بكارثة التسونامي في النموذج الديناميكي لمعالجة البيانات.

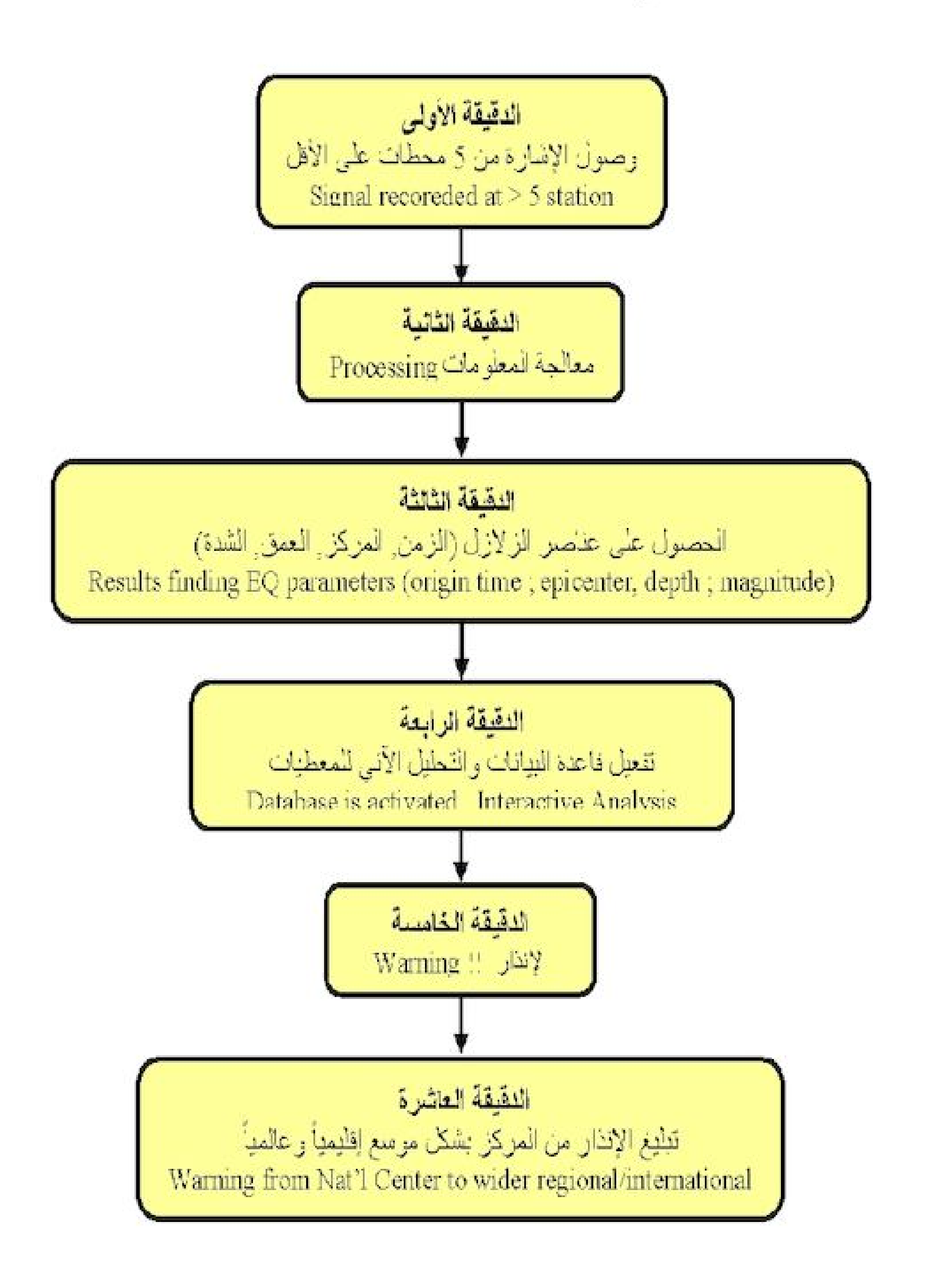


الشكل 4.8 المراحل العملية لحدوث كارثة التسونامي وتجميع ومعالجة البيانات للإنذار المبكر.

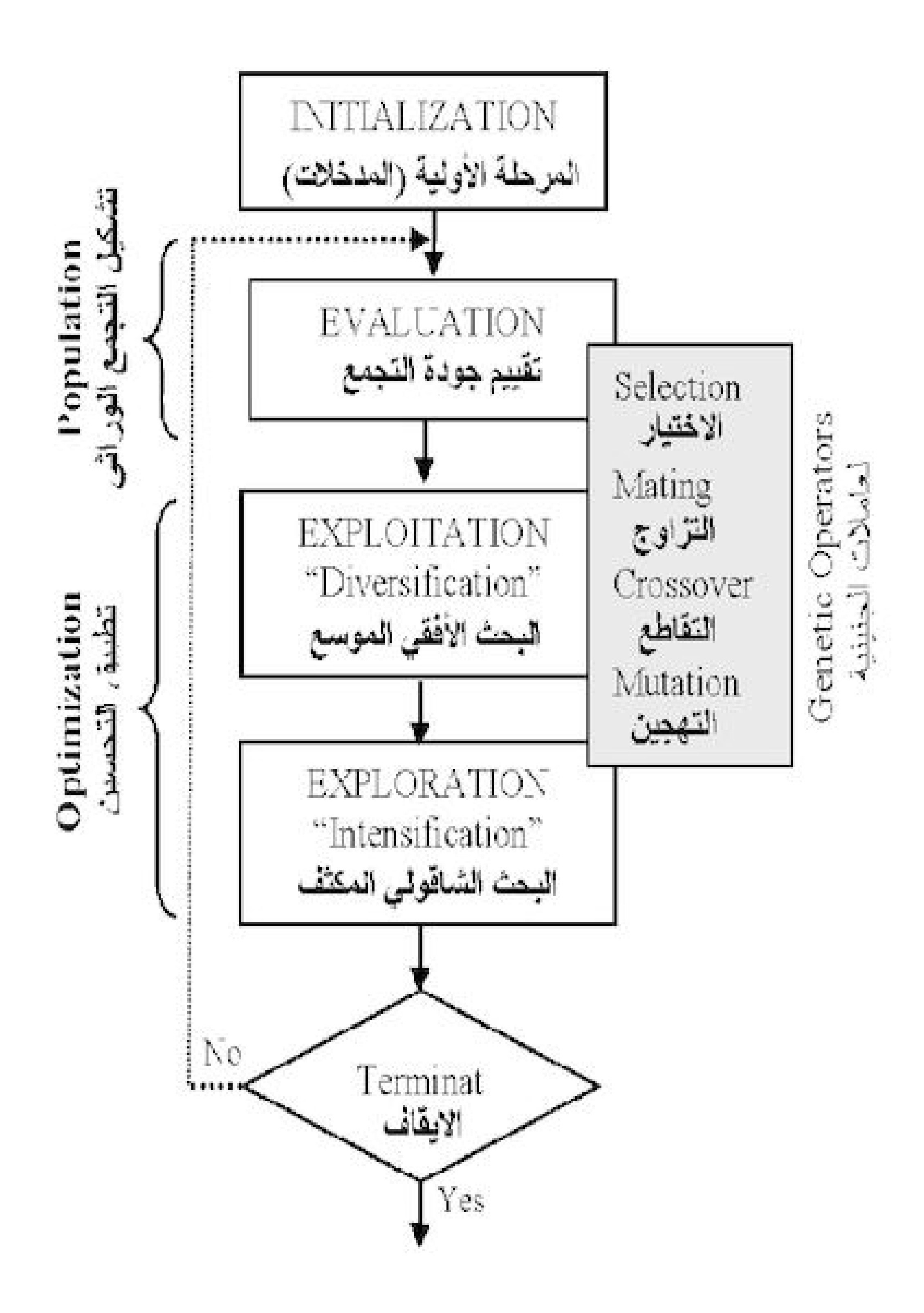
5.8 الدراسة المثالية لكارثة التسونامي باعتماد الخوارزميات الجينية (Genetic Algorithms GAs)

كما هو معلوم فإن بعض الزلازل التي حدثت في عرض البحار والمحيطات قد أنتجت مداً ألحق المناطق البعيدة بمئات الكيلومترات بأضرار كبيرة ففي حوض البحر الأبيض المتوسط سجل 10 ٪ من هذا الخطر الذي يمس مصر 1350، لبنان وسوريا 551، الجزائر 2003 حيث وصلت أضرار الزلازل إلى إسبانيا والمغرب 2007. فالوضعية الطبيعية لمعظم دول العالم العربي الموازي

لخط الزلازل المتجه من أغادير غرباً إلى خليج العقبة شرقا وحتى الأقطار العربية الأخرى الخارجة عن تأثير هذا الخط، تقع في محيط تأثيرات خطوط زلازل أخرى كما هو الحال بالنسبة لبعض دول الخليج التي تتأثر بالهزات التي تقع بشرق القارة الأسيوية أو بجنوبها. لهذا يجب تحقيق الدراسة الشاملة لكامل المنطقة الجغرافية التي يُمكن أن يعَصُف بها التسونامي لدرء كافة الأخطار المحتملة. تشرح الفقرة الآتية مراحل تطبيق البحث العلمي والتطوير التقاني باستخدام الخوارزميات الجينية لإيجاد الحل المناسب للتحكم بالمخاطر في أثناء مراحل إدارة التسونامي (الشكل 6.8).



الشكل 5.8 الوقت المطلوب (بالدقائق) لمعالجة بيانات الإنذار عن التسونامي.



الشكل 6.8 المخطط التوجيهي لعمل الخوارزمية الجينية في إيجاد الحل المثالي للتخفيف من حدة الكارثة

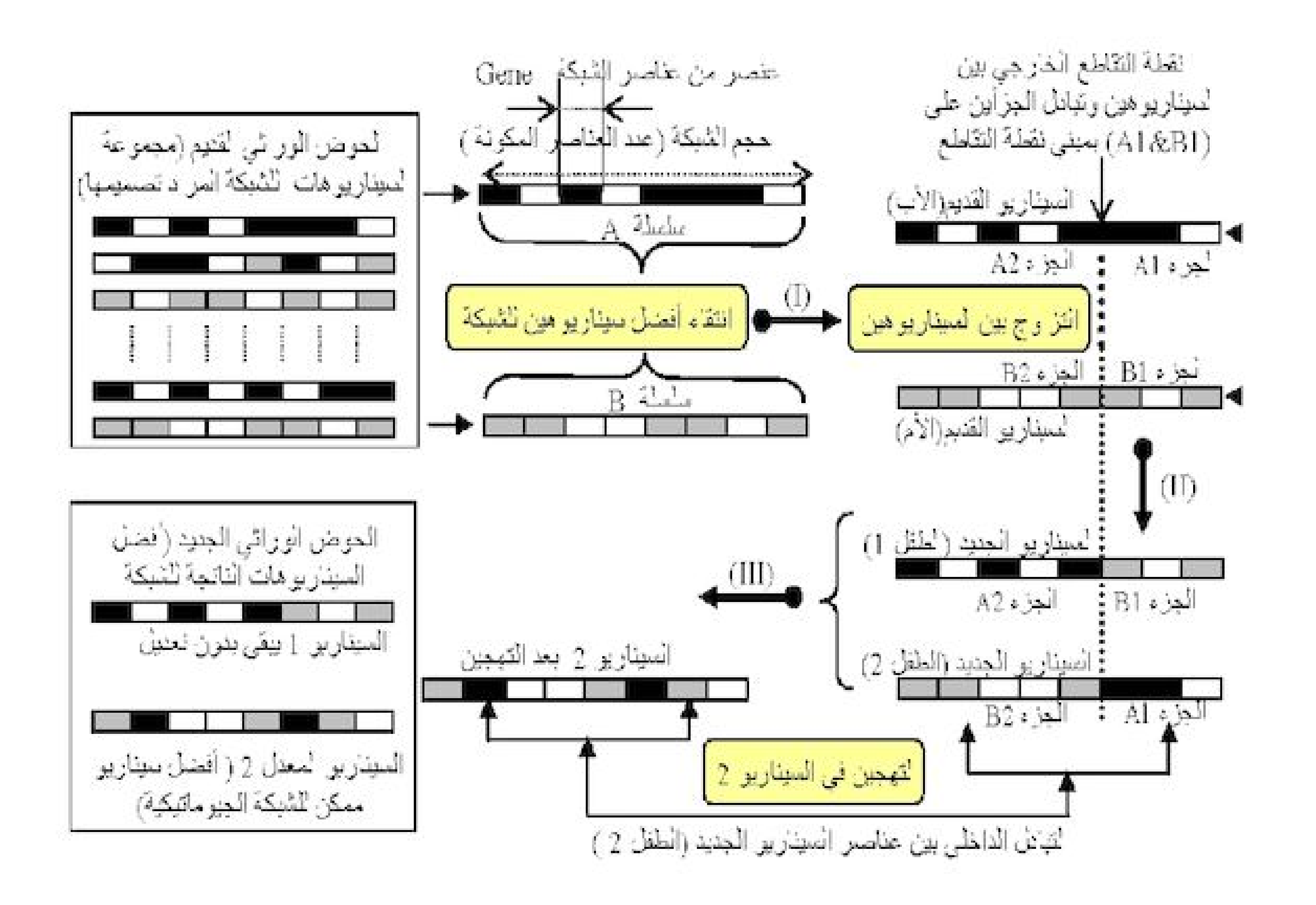
تَسّبب الزلازل القوية البحرية في حركة اهتزازية عنيفة للأرض بمركبات أفقية ورأسية متزامنة يصطحبها اهتزاز والتواء وتشوهات في الأرض حيث تتألف الدراسة الميكانيكية للتسونامي من ثلاث مراحل فيزيائية متتابعة تبدأ بتوليد الموجة من جراء أي إزاحة عمودية مفاجئة في قاع البحر نتيجة حركة تصدعية عنيفة وبعدها تنتشر الموجة ثم تتلاشى. باستخدام النموذج الديناميكي للمنظومة يمكن تحليل هذه الدراسة ونمذجة العناصر المؤثرة على التسونامي والمؤلفة من: قوى الزلازل (magnitute)، وموقع وتكرار الزلازل (frequency and location)، وعمق بؤرة الزلازل التي تؤثر على حجم أمواج تسونامي المتولدة، وتأثير مسار موجة الطاقة الزلزالية (seismic energy)، ومتوسط الإزاحة الأرضية حيث يصاحب حدوث الزلازل عادة تحرك رأسي أو أفقي لأحد جانب الصدع مما يتأثر حجم الموجات البحرية بالزيادة تبعاً لزيادة الإزاحة، واتجاه الحركة على سطح الفالق كالتحرك الرأسي لجانبي الفالق بالنسبة لبعضهما البعض أو التحرك الجانبي

أو الإزاحة المائلة على سطح الفالق، ودرجة مساهمة الظروف الجيولوجية في الدمار، إلخ. تتطلب دراسات المخاطر الزلزالية لأي منطقة بالتعرف بدقة على معاملات اضمحلال الموجات الزلزالية، وتستخدم عادة معادلات الاضمحلال (attenuation relations) لتقدير الحركات القوية في دراسات المخاطر الزلزالية لتلك المناطق، وهي عبارة عن علاقات رياضية مبسطة تربط معامل معين للحركة الأرضية (كالتسارع والسرعة الأرضية العظمى) (ground-motion parameter) في مكان ما بعدة عوامل سيزيمية للزلزال مثل مقدار الشدة، وبعد الموقع عن بعد الزلزال، ونوع الصد وع، وحالة المكان المحلية. لقد شهدت السنوات الماضية تطوراً مضطرداً في الدراسات الخاصة الموجات الزلزالية وطرأ تحسن كبير في تعيين قيم الاحتكاك الداخلي للموجات الزلزالية كعامل النوعية (quality factor) وهذا ما تتناوله منظومة البحث والتطوير في مواكبتها لأحدث التقنيات.

للتخفيف من مخاطر التسونامي يلزم الاستعانة بالنموذج الديناميكي المتكامل لانجاز كافة مهام رصد وتسجيل عدد الظواهر الأرضية الطبيعية المتعاقبة المساعدة على تولد هذه الأمواج. تتكون هذه المهام من: رصد وتسجيل النشاط الزلزالي العملاق والقوى في المناطق البحرية العميقة، ومراقبة تولد أمواج تسونامي في مياه البحار والمحيطات وطبيعتها وأنماط انتشارها إلى المناطق الشاطئية ضحلة الأعماق. يعتمد النموذج في عمله على عدد من أجهزة الرصد والتسجيل الموزعة على اليابسة والشواطئ وفي المناطق البحرية أو من الفضاء الخارجي مثل : أجهزة رصد وتسجيل النشاط الزلزالي والنشاط البركاني، وأجهزة رصد الأمواج والتيارات البحرية في البحار والمحيطات، وأجهزة الرصد والتصوير الفضائي للمناطق البحرية، وأجهزة قياس ضغط مياه أعماق البحار والمحيطات، وأجهزة قياس المد والجزر والتغير في مستوى مياه البحار والمحيطات، إلخ. يتكون النموذج من منظومة شبكية تضم كافة هذه الأجهزة وتنقل بياناتها إلى مركز تجميع البيانات والتحليل الفوري لها للاستفادة منها كوسيلة فعالة للإنذار المبكر عن التسونامي حيث إن حدوث هزة أرضية عميقة في المناطق البحرية تعتبر إشارة أولية عن احتمالية حدوث التسونامي، أما الإشارة الواضحة فهي الارتفاع المفاجئ للمياه في الخلجان البحرية وعلى امتداد الشواطئ الذي يمكن أن تسجله أجهزة الإنذار المبكر. إن الطرق المستخدمة حالياً غير قادرة على تأمين التمثيل الصحيح والمفصل للوضع العام للمخاطر

الزلزالية والتكتونية، وينقصها القدرة على اختيار المعلومات الضرورية من قاعدة البيانات. يستطيع النموذج الديناميكي الجيومعلوماتي: 1) إيجاد الدراسة الفعالة لمعالجة المعطيات من خلال التأمين السريع والفوري لجميع المعلومات الضرورية حول مستويات الهزات الآني لكامل مساحة المنطقة الزلزالية وخاصة الأجزاء غير المجهزة بنقاط المراقبة، 2) فهم سلوك البؤر الزلزالية وتوزعها، 3) طرح عدة سيناريوهات عن التأثيرات الزلزالية التي تساعد في تقييم وتقدير الخطر الناتج وكيفية معالجة تأثيراته المختلفة قبل وبعد وأثناء الكارثة.

عند تطبيق النموذج الديناميكي يتم تحديد عدد المحاولات التكرارية (Iterations) اللازمة للحصول على أفضل تصميم ممكن. تُعرّف المحاولة التكرارية بالزمن اللازم الذي يحتاجه الحاسوب لإيجاد التصميم المناسب خلال الدورة الواحدة لعمل البرنامج (Loop). فالغاية من المحاولات التكرارية في أثناء عمل النموذج هو إجراء عمليات التفتيش والبحث الواسع ضمن المجال البحثي (Search Domain) لكارثة التسونامي المراد تحسينها بغية إيجاد أفضل حل ممكن (حتى نهاية عمل البرنامج للاستفادة من المحاولات السابقة). لتوجيه عمليات البحث بشكل فعّال، يتم تزويد النموذج بخزان ذاكرة صغير ومؤقت لخزن وتجميع المعلومات الناتجة من كل محاولة تكرارية وبالتالي تساعد هذه الوحدة النموذج على تجنب دراسة نفس الحل في أثناء عمليات البحث أكثر من مرة واحدة خلال كل محاولة تكرارية. بعد نهاية كل محاولة تكرارية يتم تفريغ الخزان المؤقت من محتوياته ومن ثم يتم تجميع هذه المعلومات في خزان ذاكرة كبير ودائم ليتسنى بعدها للنموذج البدء بمحاولة تكرارية جديدة. البدء بالمحاولة التكرارية الثانية فأنه يتم اتباع نفس الأسلوب في المحاولة التكرارية الأولى ويستمر النموذج في تنفيذ جميع المحاولات التكرارية المحددة مسبقاً حتى نهاية البرنامج والحصول على التصميم الأمثل المطابق للشروط المحددة. في نهاية عمل البرنامج (وبعد الانتهاء من تنفيذ جميع المحاولات التكرارية) يتم تجميع كل المعلومات الناتجة في الخزان الدائم الذي يحتوي على كافة الحلول المتشكلة لدراسة كارثة التسونامي وعندها يتم اختيار الحل النهائي الموافق لجميع شروط معالجة التسونامي.



شكل 7.8 مراحل تطبيق الخوارزمية الجينية لإيجاد أفضل سيناريو ممكن لشبكة الإنذار عن التسونامي

تطبيق الخوارزميات الجينية لايجاد الحل المثالي للتحكم بكارثة التسونامي

تتناول هذه الفقرة مراحل تطبيق الخوارزمية الجينية في إيجاد الحل المثالي للتحكم بالمخاطر والأضرار في أثناء مراحل إدارة كارثة التسونامي. تعتمد هذه الخوارزمية على مبادئ الهندسة الوراثية لانتقاء أفضل المورثات (من الحوض الوراثي الممتلئ بالمورثات ذات الأعداد الضخمة والمتنوعة الجودة) وتأمين إستمراريتها من جيل إلى آخر عن طريق التزاوج والتهجين. تتألف مراحل التطبيق العملي لهذه الخوارزمية كما هو موضح تخطيطيا في الشكل 7.8 وتفصيلياً في الخطوات التالية: (I) عملية انتقاء أفضل سلسلتين وراثيتين من الخزان الوراثي (أي اختيار أفضل حلين من مجموعة الحلول الممكنة). (II) عملية التزاوج بين هاتين السلسلتين بتقاطع المعلومات والبيانات المفيدة بينهما والحصول على أفضل سلسلة وراثية تحتوي على كل المعلومات المفيدة (أي التبادل بين عناصر الحلين المختارين والحصول على حل جديد). (III) عملية التهجين الداخلي من خلال تغيير مكونات السلسلة الوراثية الجديدة بهدف البحث عن أفضل تركيب وراثي ممكن للسلسلة الناتجة (بعد الحصول على الحل الجديد لمعالجة التسونامي يتم إجراء تبادل وتقاطع العناصر والبيانات المكونة لهذا الحل للبحث

عن أفضل حل ممكن). لقد تم تطبيق الخوارزمية الجينية في وضع المنهجية العملية لمعالجة بيانات الخرائط التكتونية والمعطيات الزلزالية في سورية والبلاد المجاورة (كنشاط الفوالق والتحركات الأرضية وتحديد سلوكها وتوقع حدوث الزلازل الكبيرة ومدى تأثيرها على السكان والمنشآت، إلخ).

المرحلة البدائية وتعيين المدخلات

- تشكيل مصفوفة معلومات الكارثة
- تمثيل وترميز الحل
- عامل التأقلم والجودة
- حجم التجمع (خزان الحلول المقترحة)
- عاملة الاختيار (انتقاء أفضل الحلول)
- عاملة التقاطع (التبادل الخارجي)
- عاملة التهجين (التبادل الداخلي)
- عداد المحاولات التكرارية

مرحلة تشكيل وقبول الحل

- إنشاء خزان الحلول عشوائيا
- تقييم جودة الحلول الناتجة
- تطبيق البحث الأفقي الموسع
- تطبيق البحث الشاقولي المكثف
- إعادة عمليات البحث

مرحلة الإيقاف وتعيين المخرجات

- العدد النهائي للمحاولات التكرارية.
- الحل الأفضل لمواجهة الكارثة
- **الإيقاف**

الشكل 8.8 المخطط العملي الحاسوبي للخوارزمية الجينية للبحث عن الحل المثالي للكارثة.

تؤمن هذه المنهجية المرونة المناسبة لمعالجة الحجم الهائل للبيانات المجمعة بشكل سريع ومن ثم إيجاد الحلول العملية لمعالجة تأثيرات هذه الفوالق من خلال الحصول السريع على جميع المعلومات المتعلقة بمنطقة الدراسة عن طريق جمع البيانات اللازمة (كالزلزالية، والتكتونية، والجيولوجية، إلخ) في قاعدة بيانات أساسية

ومن ثم تطبيق طرق التحليل المتقدمة التي تقود إلى المساهمة العميقة في فهم الوضع التكتوني الإقليمي الذي يساعد في توضيح النطاقات الزلزالية وتحديد قيم تنبؤ النشاط الجيوديناميكي لمناطق الفوالق النشطة والصدوع الموزعة على المنطقة المدروسة وتحديد العلاقة بين درجة الاهتزاز الأرضي وحجم الزلزال المتوقع والأضرار الناجمة. تختلف مدخلات (Inputs) ومخرجات (Outputs) النموذج الديناميكي وفقاً لحجم وطبيعة التسونامي حيث يجب اختيار المدخلات بعناية كبيرة والتي تتكون من العناصر الأساسية لمركبات التسونامي وعوامل التحكم لعمل الخوارزمية كما هو موضح في المرحلة البدائية في الشكل 8.8. إن الاختيار المناسب للقيم الأولية لعوامل التحكم في بداية عمل النموذج يساعد جداً في تسريع عمليات البحث والحصول على الحل المثالي. تتغير طبيعة وقيم هذه العوامل وفقاً لأبعاد وشكل كارثة التسونامي المرصودة حيث إنه لا يوجد قانون أو قاعدة عامة يمكن تعميمها لتحديد القيم الفعلية لهذه العوامل وإنما بالتجربة والخبرة العملية والهدف المراد من التصميم. أما المخرجات فتتكون من جودة الحل النهائي والمحاولات التكرارية والزمن الحسابي اللازمين لإيجاد هذا الحل.

6.8 الدراسة المثالية لمعالجة المعطيات الزلزالية لفالق الانهدام العربي باعتماد الخوارزميات الجينية

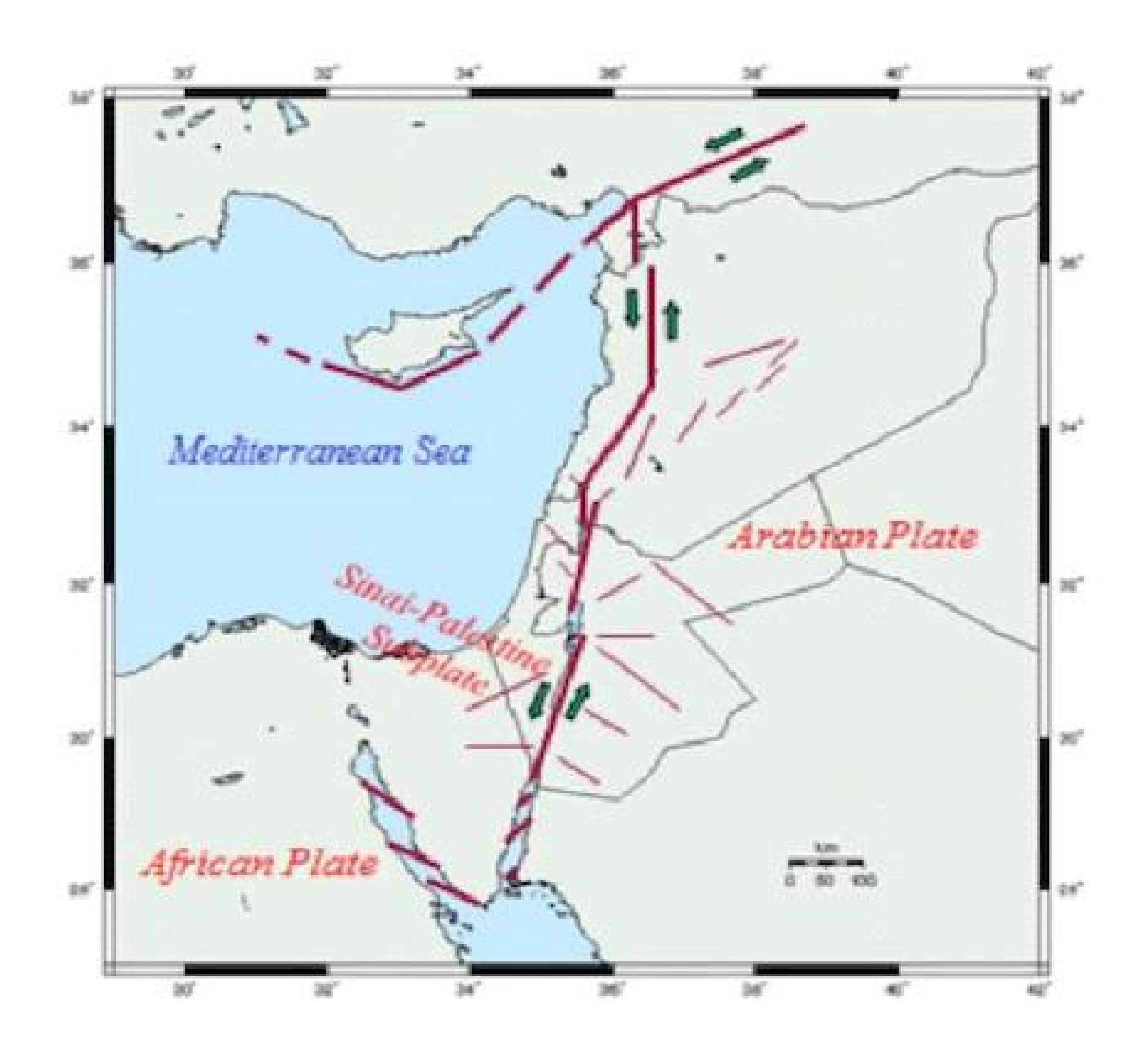
تواكباً مع التقدم التكنولوجي الهائل في مجال المعلوماتية والتقنيات الجيوماتيكية الحديثة المستخدمة في إجراء عمليات رصد القياسات وتحليلها ومراقبة تحركات الفوالق النشطة ومناطق البؤر الزلزالية، فإنه من الأهمية بمكان وضع المنهجية العملية لإيجاد الحلول الناجعة لكثير من المشاكل التكتونية كنشاط الفوالق والتحركات الأرضية وتحديد سلوكها وتوقع حدوث الزلازل الكبيرة ومدى تأثيرها على السكان والمنشآت، إلخ. تؤمن هذه المنهجية المرونة المناسبة في معالجة الحجم الهائل للبيانات المجمعة والتمثيل الفراغي الصحيح للمعلومات الناتجة بشكل سريع واقتصادي ومن ثم إيجاد الحلول العملية لمعالجة تأثيرات هذه الفوالق وتحديد إشكالياتها المستقبلية. تعتمد هذه المنهجية على برامج متطورة مبنية على النمذجة الديناميكية لخوارزميات الذكاء الاصطناعي وطرق المحاكاة المتقدمة والنظم الجيومعلوماتية في إيجاد الحلول المثالية التي تؤمن الحصول السريع على المعلومات المتعلقة بمنطقة الفالق النشط عن طريق جمع البيانات الضرورية (كالزلزالية، والتكتونية والتكتونية الحديثة، والطبوغرافية، والجيومورفولوجية، والجيولوجية، والليتولوجية) وتصنيفها في قاعدة بيانات مركزية

ومن ثم تطبيق طرق وعمليات تحليل البيانات المتقدمة التي تقود إلى: 1) المساهمة العميقة في فهم الوضع التكتوني الذي يساعد في توضيح النطاقات الزلزالية. 2) تحديد قيم تنبؤ النشاط الجيوديناميكي لمناطق الفوالق النشطة والصدوع الموزعة على المنطقة المدروسة وتحديد العلاقة الدقيقة بين شدة الاهتزاز الأرضي وقوة الزلزال المتوقع والأضرار والتأثيرات الاقتصادية والاجتماعية الناجمة. 3) تحديد مناطق تصادم الصفائح التكتونية والنطاقات الانهدامية التي تشكل المناطق الحرجة للزلازل المتكررة وتحديد أماكن الإزاحات الأفقية والشاقولية للطبقات الجيولوجية. 4) الدعم الفعال لاتخاذ القرار في اختيار المواقع المناسبة لإقامة المواقع الحيوية والمشاريع الإستراتيجية كالسدود ومحطات توليد الطاقة والمناطق الصناعية. يعرض هذا الفصل الوضع الحالي للزلازل في سورية والدول المجاورة والإجراءات العملية المتخذة للحد من خطورتها ومراحل العمل والخطوات المنفذة لهذه المنهجية الجيومعلوماتية في دراسة فالق الانهدام العربي.

فالق الانهدام العربي والفوالق المتشكلة في نطاقه

يُشكل نطاق فالق الانهدام العربي الحدود الغربية للصفيحة العربية ويمتد من البحر الأحمر في الجنوب ويتجه شمالاً ماراً عبر خليج العقبة ثم وادي عربة والبحر الميت وغور الأردن وبحيرة طبريا والبقاع اللبناني حيث يأخذ اتجاه شمال شرق في الأراضي اللبنانية ثم يتابع في الأراضي السورية باتجاه الشمال عبر البقيعة ومصياف ووهدة الغاب حتى جنوب تركيا على امتداد أكثر من 1100 كم، حيث يستمر باتجاه الشمال والشمال الشرقي مع فوالق الأناضول.

تتفرع ثلاثة فوالق رئيسية من الانهدام إلى الشمال من سهل الحولة التي تأخذ اتجاه الشمال الشرقي، وهذه الفوالق (من الغرب إلى الشرق) هي حاصبيا وراشيا وسرغايا. يظهر فالق سرغايا بشكل معلم خطي طبوغرافي واضح بطول 120 كم ويتصل في نهايته الشمالية الشرقية مع فالق العلب المتجه شرق –غرب بطول 370 كم إلى 400 كم ويصل شرقا حتى وادي الفرات. يتمثل الانهدام في لبنان بفالق اليمونة وتفرعاته الذي يبلغ طوله النشط 175 كم ويتجه بشكل عام نحو الشمال الشرقي وهو مكون من عدد محدد من الفوالق النشطة المتوضعة تباعاً. يتصف هذا النطاق بحركة متنوعة بأوقات متزامنة ولكنها عادة تتميز بخصائص عكسية صغيرة.

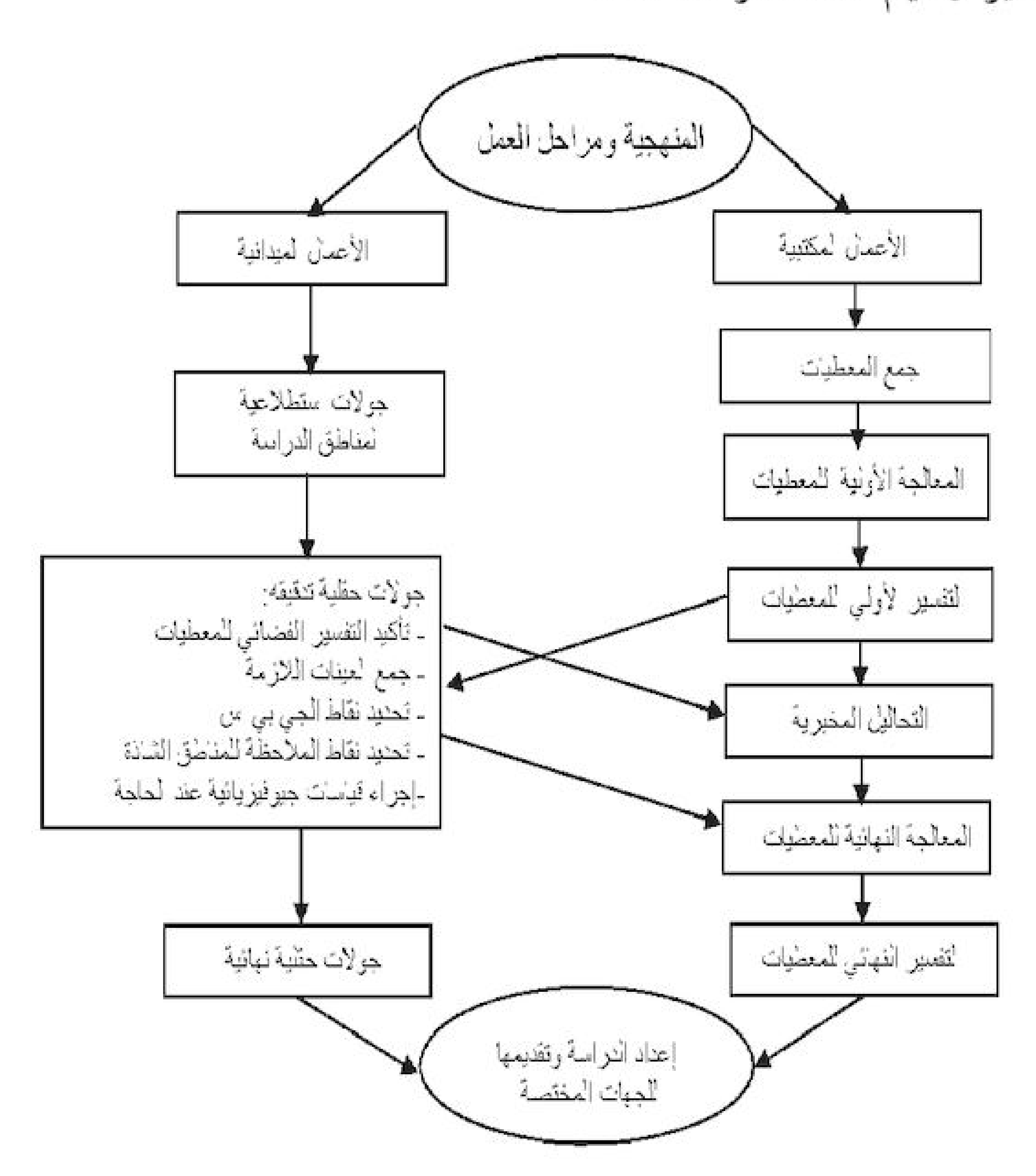


يوضح الشكل 9.8 الفوالق الرئيسية في نطاق فالق الانهدام العربي والمناطق المرتبطة به.

أما فالق الغاب فيبلغ طوله 240 كم ويتجه عموماً نحو الشمال ويشبه الأجزاء الجنوبية لفالق الانهدام في الأردن والبحر الميت. تتراوح الحركة الأفقية للانهدام بشكل عام بين 0،5 و1 سم في السنة. تُشكل هذه الفوالق النشطة المصادر الرئيسية للزلازل والبراكين والمخاطر الجيولوجية الأخرى. يوضح الشكل 9.8 الفوالق الرئيسية في نطاق فالق الانهدام العربي والمناطق المرتبطة به.

تتعامل معظم الدراسات والأبحاث الحالية مع تأثيرات هذه الفوالق من دون البحث عن الحلول المثالية التي تؤمن الدراسة التحليلية العلمية والعملية لهذه الفوالق لكي يتم فهم تأثيرها وأبعادها وكيفية التجاوب بشكل أفضل مع آثارها الجسيمة. لذا فإنه من الضروري جداً البحث عن طرق متطورة وأساليب عملية وسريعة لمعرفة الطبيعة المتغيرة لحركات هذه الفوالق التي يتم معالجتها حالياً بالطرق التقليدية غير المتناسبة مع التقدم العلمي والتكنولوجي والتي تتطلب وقتاً طويلاً لمعالجة وتحليل البيانات الخاصة بهذه الفوالق. تتناول الفقرة التالية الخصائص الرئيسية لنظام المنهجية الجيومعلوماتية المتكاملة التي تُسهل الحصول السريع على المعلومات الضرورية وتحليلها بشكل دقيق لفهم

الحاجات العملية القادرة على درء كوارث الهزات الأرضية والتأثيرات الناجمة عنها وتقدير وتقيم المخاطر الناجمة.



الشكل 10.8 المراحل المقترحة لتنفيذ خطوات عمل المنهجية الجيومعلوماتية لمعالجة المعطيات الزلزالية.

الخطوات المقترحة لتنفيذ المنهجية الجيومعلوماتية

أن تطوير المنهجية الجيومعلوماتية العملية لمعالجة بيانات الخرائط التكتونية والمعطيات الزلزالية بالإضافة إلى المعطيات الأخرى المساعدة يتم من خلال تأمين إطار العمل الديناميكي الشامل الذي يساعد في إيجاد الحلول الملائمة للتخفيف من أخطار الهزات الأرضية ومعالجة تأثيراتها المختلفة بشكل سريع وفعّال، حيث إن معظم الدراسات الحالية المتوفرة غير كافية لتحقيق مثل هذا الأمر. يوضح الشكل 10.8 المخطط التوجيهي لتنفيذ هذه المنهجية حيث

إنه تم حتى الآن تنفيذ بعض الأعمال التي تساهم في تحقيق هذه المنهجية في سوريا. تتكون المراحل الرئيسية لتنفيذ المنهجية المقترحة ممايلي:

إنشاء قاعدة البيانات الأساسية

تتكون قاعدة البيانات (Database)من المعطيات الأساسية للمعلومات المجمعة من الخرائط الطبوغرافية والتكتونية والسيسموتكتونية والتكتونيك الحديث، والخرائط الزلزالية التاريخية والحديثة، والخرائط الجيولوجية والهيدرولوجية، والصور الفضائية، ومعطيات الكثافة السكانية لمناطق الدراسة بالإضافة للتقارير والمذكرات والجداول الملحقة بذلك. يتم ترقيم الخرائط والمخططات اللازمة وربطها من خلال نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتأسيس القاعدة الرئيسية المتضمنة كافة البيانات الرقمية الضرورية والمعلومات المجمعة باستمرار عن طريق الإنترنت وسائل القياس والرصد المختلفة. يتم تصنيف الفوالق بشكل عام في قاعدة البيانات المركزية حسب طولها ومقدار شدتها وحركتها الأفقية والعامودية وعمقها ونوعيتها كالفالق العادي والفالق العكسي وفالق الانزياح الجانبي الأفقي (يميني أو يساري) وفالق التحميل والفالق المائل والفالق المركب والفالق السلمي. بشكل أكثر تفصيلاً، يسمح التركيب البنيوي والطبقي لقاعدة البيانات مستقبلاً بإدخال بيانات كثيرة ومتعددة وحسب أهميتها الرئيسية والثانوية كالتشوهات السطحية الممكنة والتي يمكن ربطها بالفوالق الزلزالية، والآثار الناتجة عن الانزلاقات الترابية وتميه التربة (liquefaction)، وتحديد أثار الموقع الجيولوجي والطبوغرافي والخصائص الليتولوجية الذي يساعد في فهم تغيّر الإشارة السيسمولوجية. تلعب نوعية الصخور دوراً مهماً في دراسة حركات الفوالق فالصخور الغضارية الطرية أشد خطراً من الصخور القاسية كما حدث في زلازل مدينة بام الإيرانية 2004. تؤثر أيضاً نوعية المنشآت المقامة بالقرب من الفوالق في تنشيط حركة الفوالق الهادئة كإنشاء السدود الضخمة التي تحجز خلفها بحيرات كبيرة تزيد من الضغط عليها وتحرك الفوالق القريبة كما حدث في زلازل تركيا 1999. إن التفصيل الموسع والدقيق لبيانات القاعدة المركزية المذكورة آنفاً سوف يدعم ويغني آليات الإنذار المبكر عن تحركات الفوالق الزلزالية.

إنشاء خرائط التكتونيك الحديث:

يُشكل إنشاء أو وضع خرائط حركات التكتونيك الحديث (Neotectonic Map) والفوالق النشطة بالمقاييس المختلفة مادة مهمة ضمن إطار تنفيذ هذه المنهجية لأن ذلك سوف يساعد على تحديد الواحدات التكتونية المختلفة بأشكالها ومناشئها المتنوعة وعلى أنواع الفوالق وأماكن وكيفية وجودها وتحديد النشط منها ومقدار هذا النشاط وكيفية ظهوره ومنعكاساته الزلزالية.

إنشاء النموذج الديناميكي:

يعتمد النموذج الديناميكي (Dynamical Model) على أحدث التقنيات التي تتميز بقدرتها الديناميكية على التعامل مع العوامل الثابتة والمتغيرة الخاصة بمعطيات الفوالق ومن ثم انتقاء المعلومات من قاعدة البيانات وتحليلها بشكل سريع وفعّال كما هو موضح أعلاه. إن الطرق التقليدية غير قادرة على تأمين التمثيل الصحيح لتوضعات الفالق وينقصها المرونة باختيار المعلومات الضرورية من قاعدة البيانات. لهذا فالنموذج الديناميكي المقترح يؤمن الدراسة الفعّالة لمعالجة المعطيات الزلزالية والتكتونية من خلال:

التأمين السريع والفوري للمعلومات الضرورية حول مستويات الهزات الآني لكامل مساحة المنطقة الزلزالية وخاصة الأجزاء غير المجهزة بنقاط المراقبة

فهم سلوك البؤر الزلزالية وتوزعها،

طرح عدة سيناريوهات عن التأثيرات الزلزالية التي تساعد في تقييم وتقدير الخطر الناتج وكيفية معالجة تأثيراته المختلفة قبل وبعد وأثناء الكارثة.

وصل النموذج الديناميكي مع الإنترنت والانترانيت:

يتم وصل النموذج الديناميكي عبر الانترانيت (Intranet) والإنترنت (Internet) ضمن إطار عمل عام مع جميع المؤسسات العامة والخاصة والجامعات ومعاهد البحوث كرئاسة مجلس الوزراء، وزارة الإدارة المحلية، وزارة البيئة، وزارة الداخلية، الدفاع المدني، هيئات الاستشعار عن بعد، المراكز الوطنية للزلازل، قيادة الطوارئ في المحافظات، واللجان المختصة.

ربط النموذج الديناميكي بنظام الإنذار المبكر:

يتم بالإمكان إنشاء المنظومة العامة لتأمين الإدارة المتكاملة لمراقبة الوضع الكارثي الناتج عن الزلازل والتنبوء عنه بربط النموذج الديناميكي بنظام الإنذار المبكر (Early Warning System)بواسطة شبكة جيوماتيكية ذات أقمار مراقبة وأجهزة رصد موزعة على الأماكن الخطرة والفوالق النشطة لتأمين المراقبة العملية والآنية والحصول السريع على الحلول المثالية التي تساعد في تخفيف مستوى التشويش في الإنذار وتسريع عملية إيصال المعلومات إلى فرق الإنقاذ في الوقت المناسب.

توضح الفقرة التالية كيفية استخدام وتطبيق الخوارزميات الجينية في تسريع العمليات الحسابية للنموذج الديناميكي من خلال المعالجة العملية لبنيات قاعدة البيانات وتأمين الدراسة المثالية للفوالق النشطة.

الخوارزميات الجينية

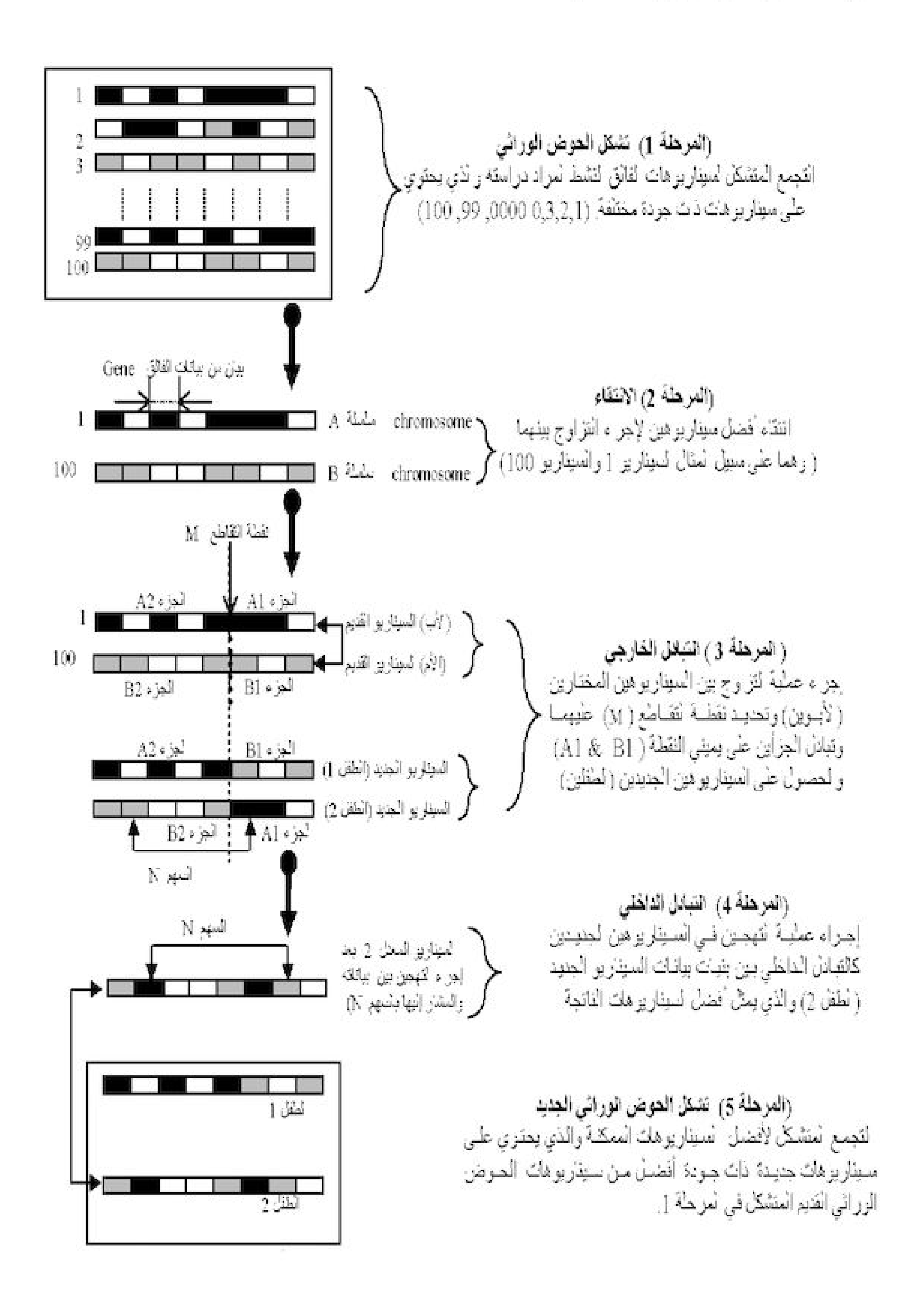
تتألف الكائنات الحية من مجموعة الخلايا المتشابهة وكل خلية تملك كروموزومات (Chromosome) ذات سلاسل مكونة من جينات متنوعة (Gene). تحتوي هذه الجينات على المعلومات البيولوجية المرمزة التي تتحكم بالصفات الوراثية عن طريق نسخ ونقل هذه المعلومات خلال عملية التزاوج بين الكروموزومات الأصلية إلى جميع الكروموزومات الجديدة. يوضح الشكل 6.8 الإطار العام لعمل الخوارزميات الجينية لانتقاء أفضل السلاسل الوراثية (أي أخطر سيناريوهات الفوالق النشطة المراد دراستها) من الحوض الوراثي (أي قاعدة البيانات الأساسية) الممتلئ بإعداد ضخمة من هذه السلاسل ذات الجودة المتنوعة (أي فوالق نشطة وفوالق غير نشطة) وتأمين استمراريتها من جيل (Generation) إلى آخر (أي استخدامها بشكل عملي وناجح خلال كل مرحلة دراسية وتفصيلية من قبل الحاسب وتدعى بالمحاولة التكرارية (Iteration)) عن طريق التزاوج والتهجين بين السلاسل الوراثية (أي تبادل وتقاطع المعلومات والبيانات فيما بينها لمعالجة المعطيات التكتونية بشكل فعال ومستمر خلال جميع مراحل إدارة ومراقبة الزلازل.

يوضح الشكل 11.8 تخطيطيا مراحل تطبيق الخوارزميات الجينية للحصول على أخطر سيناريو ممكن حدوثه للفالق النشط المراد دراسته وفق مايلي:

(1) عملية الانتقاء لأفضل سلسلتين من الخزان الوراثي (أي اختيار سيناريوهين خطرين من مجموعة السيناريوهات الممكنة).

(2) عملية التزاوج بين هاتين السلسلتين بتقاطع المعلومات والبيانات المفيدة بينهما والحصول على أفضل سلسلة ممكنة تحتوي على كل المعلومات المفيدة (أي تبادل المعلومات والمعطيات بين عناصر السيناريوهين المختارين والحصول على سيناريو جديد أفضل من سابقيه).

(3) عملية التهجين الداخلي بتغيير بنيات بيانات السلسلة الجديدة بغية البحث عن أخطر سيناريو ممكن.



الشكل 11.8 الإطار العام لعمل الخوارزميات الجينية للحصول على السيناريو الخطر للفالق النشط.

التمثيل الجنيني لسيناريوهات الفوالق النشطة

تبدأ الخوارزمية الجينية عملها عند دراسة خطورة الفوالق النشطة باختيار سيناريوهين من مجموعة السيناريوهات المحتملة، ثم تُطبق عليهما عمليات التحسين كتقاطع وتبادل البيانات لإيجاد سيناريوهات جديدة أفضل (أي ذات خطورة أشد) من السيناريوهين السابقين. تُكرر الخوارزمية في كل مرحلة تُطبق فيها عمليات التحسين على السيناريوهات الناتجة بهدف البحث عن أخطر سيناريو ممكن حدوثه. تتوقف الخوارزمية فور الحصول على السيناريو النهائي الأكثر خطورة (المثالي) والموافق للشروط المحددة مسبقاً. فالهدف الرئيسي للخوارزميات الجينية تكوين الصيغة الفعالة لتطبيق عمليات البحث والتحسين (النمذجة) على الفالق المراد دراسته بهدف إيجاد السيناريو الأكثر خطورة ومن ثم تحسين فعالية استخدام معطيات هذا السيناريو إلى أقصى حدود الإمكانية.

بشكل تفصيلي يجب تحقيق النقاط الثلاث الآتية عند تطبيق هذه الخوارزميات في دراسة الفوالق:

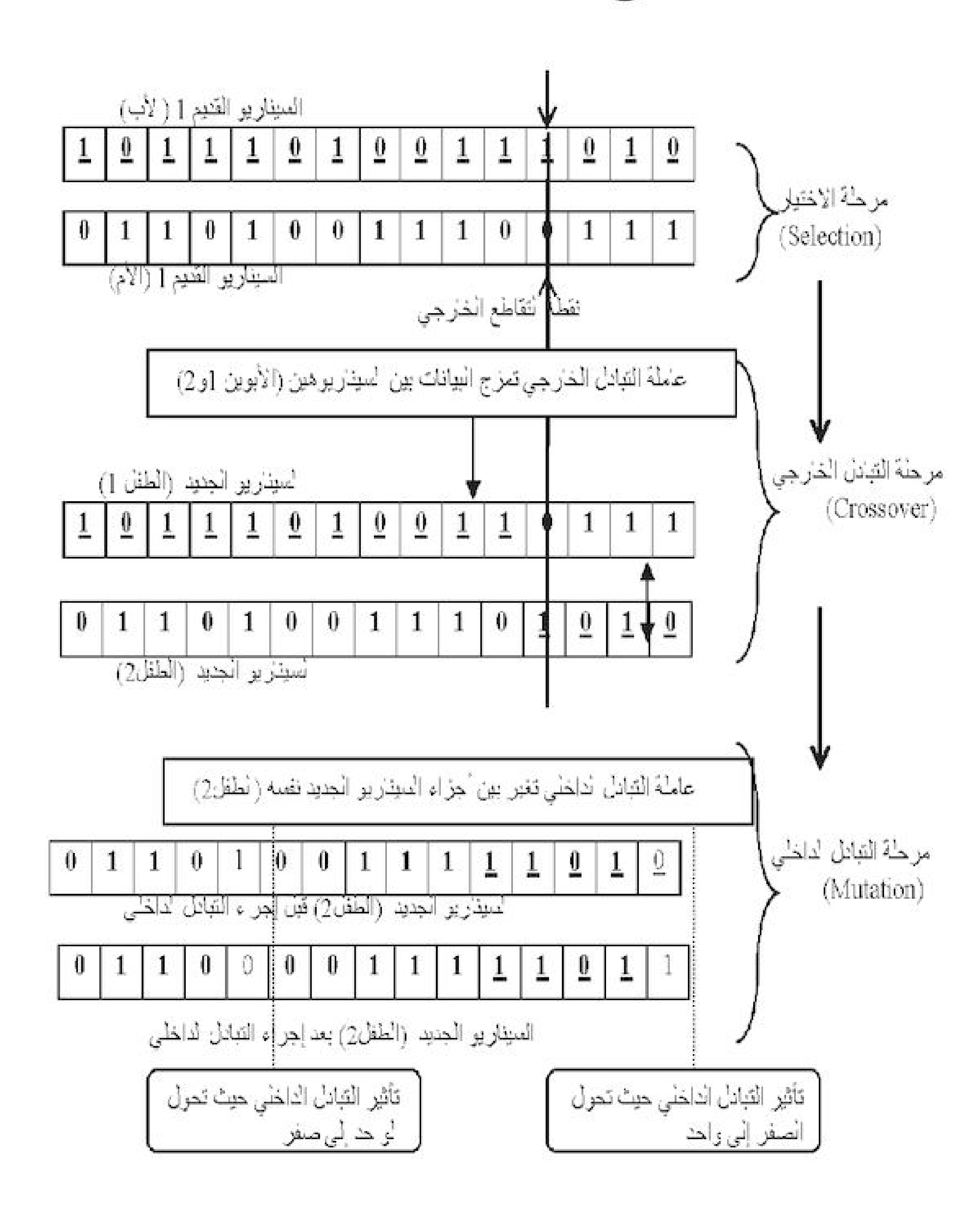
1) إيجاد الصيغة الدقيقة للتمثيل الجنيني (Genetic Representation) لبنيات بيانات الفالق النشط المراد دراسته.

2) تحديد الدالة الهادفة (Objective Function) أو عنصر التأقلم (Fitness Function) الذي يحدد شدة الخطورة النسبية لكل سيناريو ناتج.

3) تطبيق العاملات الجينية (Genetic Operators)كالاختيار (Selection) والتبادل الخارجي (Crossover) والتبادل الداخلي (Mutation) على سيناريوهات التجمع المتشكل في كل مرحلة تكرارية (Iteration).

بشكل عام تُعتبر عملية التمثيل الجنيني لبيانات المسألة المراد دراستها معقدة جداً وتكمن صعوبتها في إيجاد الصيغة الدقيقة لترميز (Coding) الحلول المحتملة لهذه المسألة وذلك وفقاً لإستراتيجية الخوارزميات الجينية المستخدمة. على سبيل المثال، تعتمد هذه الخوارزميات عند تطبيقها في إيجاد التصميم المثالي للشبكة الجيوماتيكية على نظام ترميز معقد ينسجم وطبيعة القياسات الزمنية (Sessions) وتسلسلها في خطة العمل (Schedule) الذي سيتم على أساسها تصميم هذه الشبكة وفقاً للشروط التقنية والهندسية والاقتصادية

(كعدد وتوزع نقاط التسوية والشكل الهندسي للشبكة وأبعادها والهدف المراد من إنشائها وعدد أجهزة الاستقبال المستخدمة والمساحين ووسائل النقل وأجهزة الاتصال اللازمة، إلخ).



الشكل 12.8 **التمثيل العددي المُرَمز لسيناريوهات الفالق** باستخدام الخوارزميات الجينية

إن المفتاح الرئيسي لنجاح تطبيق الخوارزميات الجينية في دراسة شدة خطورة الفوالق النشطة في هذه الورقة يعتمد على الترميز الدقيق والمناسب لبيانات هذه الفوالق والذي تم تمثيله في هذا البحث بسلسلة عددية مزدوجة (الكروموزوم) مكونة من أجزاء متشابهة (الجينات) ممتلئة بالأصفار والآحاد كما هو موضح في الشكل 12.8. يوضح هذا الشكل خيارات التمثيل الجنيني

للسيناريوهات المحتملة والتي ترتكز على المعطيات الثابتة والمتغيرة لبيانات الفالق المدروس (أي الجينات في الكروموزوم) وفقاً لإحدى الحالتين: الرقم (1) إذا كانت المعلومة (الجين) مستخدمة في دراسة السيناريو الحالي والرقم (0) إذا كانت المعلومة (الجين) غير مستخدمة. يتراوح عدد الخيارات المحتملة لهذه السيناريوهات وفقاً لحجم ونوعية البيانات المستخدمة في هذا التمثيل والتي تعبر عن شدة الفالق الناتج في التجمع المتشكل.

7.8 التطبيق العملي لاستخدام الخوارزميات الجينية على حالة دراسية لفالق وهمي

أن الخوارزميات الجينية المقترحة في هذه الدراسة عبارة عن نموذج حاسوبي يقوم عشوائيا بتشكيل التجمع الجنيني (Population) للسيناريوهات المحتملة لتوضع وخطورة الفالق النشط ومن ثم القيام بتطبيق العمليات الجينية (Genetic Operators) على هذا التجمع لحذف أو الإبقاء على أخطر السيناريوهات الممكنة وفقاً لمقدار نسبة الخطورة التي يتم قياسها بواسطة عنصر التأقلم الخاص بكل سيناريو كما هو مبين في المراحل الأربع الموضحة تخطيطيا في الشكل 6.8.

المرحلة الأولى: إيجاد التمثيل الصحيح والدقيق لبيانات الفالق المدروس ومن ثم تشكيل التجمع البدائي للسيناريوهات المحتملة (Initialization).

المرحلة الثانية: حساب قيمة عنصر التأقلم لكافة سيناريوهات التجمع المتشكل من أجل تقييم شدة خطورة كل سيناريو في التجمع الناتج (Evaluation of fitness function).

المرحلة الثالثة: تنفيذ مرحلة البحث الأفقي المُوسّع في مجال البحث الكلي لسيناريوهات الفالق المدروس(Exploitation or Diversification) وذلك بانتقاء السيناريوهات (Selection) ذات نسبة التأقلم العالية وحذف السيناريوهات ذات نسبة التأقلم الضعيفة من التجمع البدائي.

المرحلة الرابعة: تنفيذ مرحلة البحث الشاقولي المكثف على بيانات السيناريوهات المنتقاة في المرحلة الثالثة (Exploration or Intensification)

بتطبيق عمليات التبادل الخارجي والداخلي والحصول على أخطر السيناريوهات المحتملة ومن ثم استخدامها في عمليات التحسين المقبلة لتشكيل التجمعات الجديدة والأفضل من التجمعات السابقة .

يتم تطبيق المراحل الأربع المذكورة للشكل 6.8 على الخطوات المتبعة في الشكل 11.8 لإيجاد أخطر سيناريو بتمثيل بيانات الفالق بشكل مُرَمّز كما هو موضح بالشكل 12.8 حيث تستخدم عاملة الاختيار مبدأ دولاب الحظ (الروليت) (Roulette-Wheel Selection) لانتقاء سيناريوهين من التجمع البدائي، وإجراء عملية التزاوج بينهما وفقاً للمبدأ الاحتمالي الذي يعتمد على التناسب بين القيمة الوسطية للتأقلم وقيم تأقلم هذه السيناريوهات، ويُحدد العامل الاحتمالي من قبل المبرمج ويُعطى عادة قيمة عالية (0.09). يتم حساب القيم الاحتمالية لعاملة الاختيار وفق العلاقة التالية والمبينة معطياتها في الجدول (1.8).

$$p_i = \frac{Fit(S_i)}{\sum_{j=1}^{n} Fit(S_j)}$$

السيناريو Si	تابع التأقلم $Fit(V_i)$	القيمة الاحتمالية p_i
S_1	3	3/6 = 0.5
S_2	0	0/6 – 0
S_3	1	1/6 – 0.17
S_4	2	2/6 = 0.33
المجموع	$Fit(V_i)=\sum 6$	1.00

جدول 13.8 القيم الاحتمالية لاختيار السيناريوهات الأربعة في التجمع البدائي

بافتراض أن التجمع البدائي مؤلف من أربعة سيناريوهات ذات قيم شدات الاهتزاز التالية:

،° f (S3) = 6، f (S2) = 7 °، the magnitude of S1)،{f (S1) = 4° (i.e.
f (S4) = 5°}

بعدها يتم حساب قيمة التأقلم (Fitness Value) لكل سيناريو والتي تساوي

الفرق بين شدة أكبر هزة لأخطر سيناريو وقيم شدات السيناريوهات الأخرى وفقاً للعلاقة {Fit(Si) = Max(f) - f(Si)}.

Fit(S1) = Max(f) – f (S1) = 7-4 = 3 (now the new fitness value) is 3 for the S1

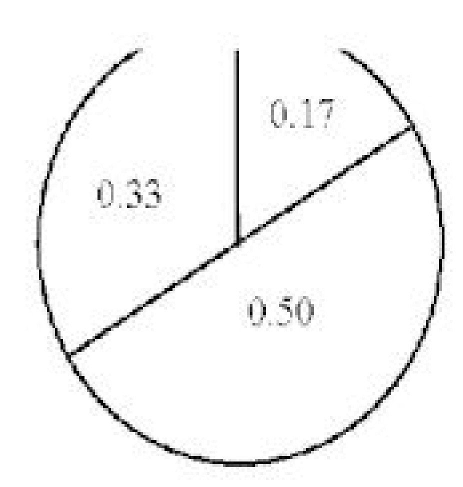
Fit(S2) = Max(f) – f (S2) = 7-7 = 0

Fit(S3) = Max(f) – f (S3) = 7-6 = 1

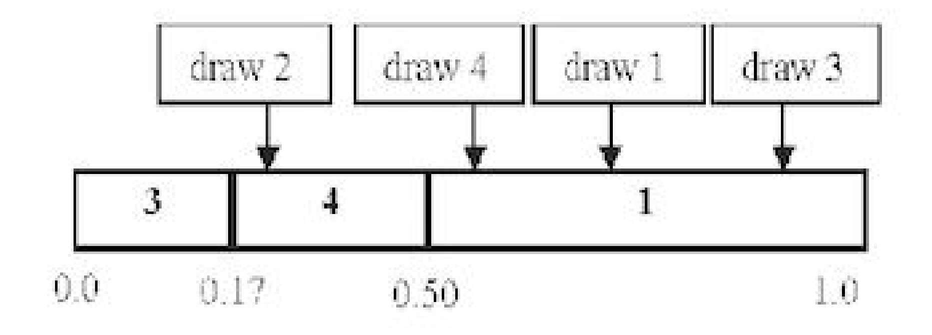
Fit(S4) = Max(f) – f (S4) = 7-5 = 2

تُعتبر قيم التأقلم المقياس النوعي لتحديد أخطر سيناريو ممكن ويعتمد تابع التأقلم Fit للسيناريو Si على شدته وعلى القيمة العظمى لشدة هزة أخطر سيناريو في التجمع المتشكل (Max (f) = 7°).

يبين الجدول 1.8 القيم الاحتمالية لاختيار كل سيناريو Si من التجمع المكون من أربعة سيناريوهات حيث تمثل Fit(Vj) القيمة العامة لعنصر التأقلم {Fit(Vj) = 6 (the sum of 3 + 0 +1 + 2)} وكما هو ملاحظ من هذا الجدول فإن السيناريو S2ليس له أي حظ ليستخدم في مرحلة الإنتاج المقبلة بسبب قيمة الصفر لتابع التأقلم.



الشكل 13.8 القطاعات الدائرية المتناسبة مع قيم التأقلم لسيناريوهات التجمع البدائي.



الشكل 14.8 انتقاء السيناريوهات ذات الحظ الأوفر باستخدام طريقة دولاب الحظ الروليت

تُرسم القيم الاحتمالية على شكل قطاعات دائرية متاخمة تتناسب مساحاتها وقيم عناصر التأقلم الخاصة بها وبالتالي يشغل كل سيناريو في التجمع الحالي قطاع من دولاب الحظ الروليت (جزء من الدائرة) بمساحة متناسبة مع القيمة الاحتمالية وعنصر التأقلم الخاصة به كما هو موضح في الشكل 13.8. بعد ذلك يتم حساب العدد العشوائي (Random Number) (حيث تتراوح قيمته بين الصفر والواحد) لتحديد مقدار قيمة التأقلم لكل سيناريو بإجراء أربع عمليات سحب للحظ كما هو موضح في الشكل 14.8 (أي أربعة دورانات لدولاب الحظ وفقاً لعدد سيناريوهات التجمع البدائي). يبين هذا الشكل أن السيناريو S1ذا قيمة التأقلم العالية تم سحبه ثلاث مرات (ثلاثة دوارانات)، بينما لم يُسحب السيناريو S3(ذو قيمة التأقلم الضعيفة) وبالتالي يتم انتقاء السيناريوهين S1 وS4 كأفضل مرشحين للمشاركة في عملية الإنتاج (Phase of Reproduction). بعد ذلك تقوم عاملة التبادل الخارجي بتوسيع نطاق عمليات البحث وتنفيذ مرحلة البحث الأفقي بتحديد نقطة التقاطع الخارجي على طول السيناريوهين (الأبوين) ليتم تبادل معلوماتهما الواقعة بعد نقطة التقاطع وإنتاج السيناريوهين (الطفلين) وبجودة أفضل من أبويهما ومن ثم استخدامهما في المرحلة التكرارية الثانية (الجيل الثاني). يتم بعد ذلك استخدام عاملة التبادل الداخلي لتكثيف عمليات البحث عن أخطر السيناريوهات الناتجة بتغير مواقع بنيات بيانات السيناريو الناتج (كتغير الواحد إلى صفر أو بالعكس في نفس السيناريو كما هو موضح في تطبيق عمليات التبادل الداخلي على السيناريو الجديد (الطفل 2) في الشكل 12.8) وذلك وفقاً لعامل احتمالي يتم اختياره من قبل المبرمج وعادة يعطى قيمة ضعيفة (0.01) للحفاظ على السيناريوهات الأخرى الخطرة وبالتالي فالتجمع الجديد الناتج في نهاية هذه المرحلة سوف يتضمن سيناريوهات أخطر من سيناريوهات التجمعات السابقة. وهكذا فالتجمع الأصلي يحافظ على تحسينه وتطوره بشكل عام من مرحلة إلى أخرى بتشجيع أخطر السيناريوهات الناتجة وحذف السيناريوهات الأقل خطورة « فقط البقاء للأقوى». بتكرار العمليات التحسينية على تجمعات السيناريوهات الخطرة الناتجة فإن ازدياد مستوى التأقلم سوف يصل إلى أعلى قيمة له تبعاً لعدد معين من المحاولات التكرارية المتتالية (الأجيال المتعاقبة) حتى الحصول على أخطر سيناريو يحقق الشروط المحددة. يتم تعديل عناصر الخوارزمية في كل مرحلة تكرارية كحجم التجمعات

المتشكلة وقيم تأقلم السيناريوهات الناتجة والقيم الاحتمالية للعاملات الجينية حتى الحصول على القيم الثابتة في المرحلة النهائية.

8.8 خاتمة ومقترحات ودراسات مستقبلية

يؤكد هذا البحث على أهمية وضرورة اعتماد المنظومة العملية المبنية على البحث والتحليل العلمي والتطوير التقاني والابتكار في إدارة الكوارث لإيجاد الحلول المثالية لمواجهتها وتخفيف آثارها.و في الختام فإن تقليص مخاطر الكوارث في دول العالم يقتضي تحقيق مشروع إنشاء مركز بحثي إقليمي يشرف على كامل الأبحاث المتعلقة بإدارة الكوارث والذي يجرى تنفيذها في جميع مراكز الأبحاث والجامعات وتنسيقها وتوحيدها والاستفادة منها في مواجهة جميع الكوارث الطبيعية والبيئية الأخرى. تشرف على هذه الهيئة مجموعة من الباحثين المتمرسين في هذا المجال ووضع خطة بحثية تتبنى التطوير المستمر والشامل لجميع منظومة البحث العلمي والتطوير التقاني بحيث تقلل من البحوث النظرية وتزيد في البحوث العملية وتطبيقها على حالات دراسية على أرض الواقع والتي يتكرر حدوثها في أي مكان في هذه الدول. إضافة إلى خلق الآليات العلمية لتبادل المعطيات والخبرات ونتائج البحوث والدراسات المتعلقة بالوقاية من الكوارث الطبيعية ومواجهتها وكذلك إجراء العمليات الميدانية كالتدريبات والمناورات المشتركة في مختلف الفروع والاختصاصات لتطوير قدرات الأجهزة العربية في هذا المجال. تضمين رسم استراتيجيات من شأنها أن تساعد على تضمين تكنولوجيا المعلومات والاتصالات على نحو فعال في صلب مبادرات الحد من مخاطر الكوارث ومنها مثلاً نشر تكنولوجيات منخفضة التكلفة وملائمة ويمكن تحملها والتي يمكن تعبئتها من أجل الحد من الكوارث وتخفيف آثارها. حيث إن التعامل مع الكوارث بشكل أفضل وتقليل الخسائر المادية والبشرية لا يكون إلا بتعزيز سبل التعاون والتنسيق والتضامن بين جميع الدول كافة وبتضافر جهود وقوى وإمكانيات المنظمات والهيئات الاقلمية والدولية المختصة لتخفيف الآثار السيئة للمخاطر.

الفصل التاسع

التطبيقات المهمة للشبكات الجيوماتيكية الداعمة لمنظومة الإنذار المبكر للكوارث باستخدام منظومة خوارزمية منظومة عمل النمل

1.9 مقدمة

إن التطور الهائل في عمليات التخطيط والتنظيم الشامل للبيئة المبني على استخدام أحدث الطرق والنظم المعلوماتية والجيوماتيكية قد ساعد بشكل فعَّال في تطوير وتحقيق عمليات التنمية المستديمة التي تلعب دوراً مهماً في تخفيف الأخطار الناجمة عن الكوارث البيئية والطبيعية. يبين هذا الفصل نظرياً وعملياً مبدأ عمل خوارزمية منظومة عمل النمل مع بعض تطبيقاتها المهمة في الحياة العملية وكيفية التحقق من صحة النتائج الحاصلة ومن ثم تعميمها على حالات دراسية في الحياة العملية. أيضاً يعالج هذا الفصل دور هذه الخوارزمية في عمليات صنع واتخاذ القرار وتسريع معالجة البيانات للحصول على المعلومات الضرورية في دعم منظومة الإنذار المبكر.

2.9 مبدأ عمل خوارزمية منظومة عمل النمل في إدارة الكوارث (Ant Colony Optimization ACO)

تعالج هذه الفقرة مبادئ عمل خوارزمية منظومة عمل النمل Ant Colony Ant)

(Optimization ACO للحصول على التصميم المثالي للشبكات الجيوماتيكية وكيفية التحقق من صحة النتائج الحاصلة. لقد تم تصميم هذه الخوارزمية من قبل الباحث الايطالي ماركو دوريكو (Marco DORIGO) وتم تطبيقها بنجاح على إيجاد حلول ناجعة لمسائل معقدة في الحياة العملية كتصميم شبكات الاتصالات الضخمة وجدولة تنظيم حركة المرور في المدن الكبرى وإيجاد المواقع المثالية لمحطات ومخازن الطاقة وغيرها. في هذ الفصل، تعتبر عملية تصميم الشبكات الجيوماتيكية باستخدام خوارزمية منظومة عمل النمل الحالة الأولى والفريدة من نوعها على مستوى العالم حيث تم تعديل عناصر وعمل خوارزمية منظومة عمل النمل من قبل الباحث حسين عزيز صالح لتناسب الطبيعة الديناميكية لتصميم الشبكات الجيوماتيكية وتم تطبيقها بنجاح لإيجاد التصاميم المثالية لشبكات ضخمة في جمهورية مالطا وجمهورية سيشيلز. يعتمد التصميم الفعال للشبكة الجيوماتيكية على عدة عوامل كعدد القياسات الزمنية في خطة العمل الاولية ونوع الخوارزمية الميتاهيروستيكية المستخدمة لإنشاء وتحسين هذه الخطة والشكل الهندسي للشبكة وأبعادها والغرض المراد من تصميمها، إلخ.

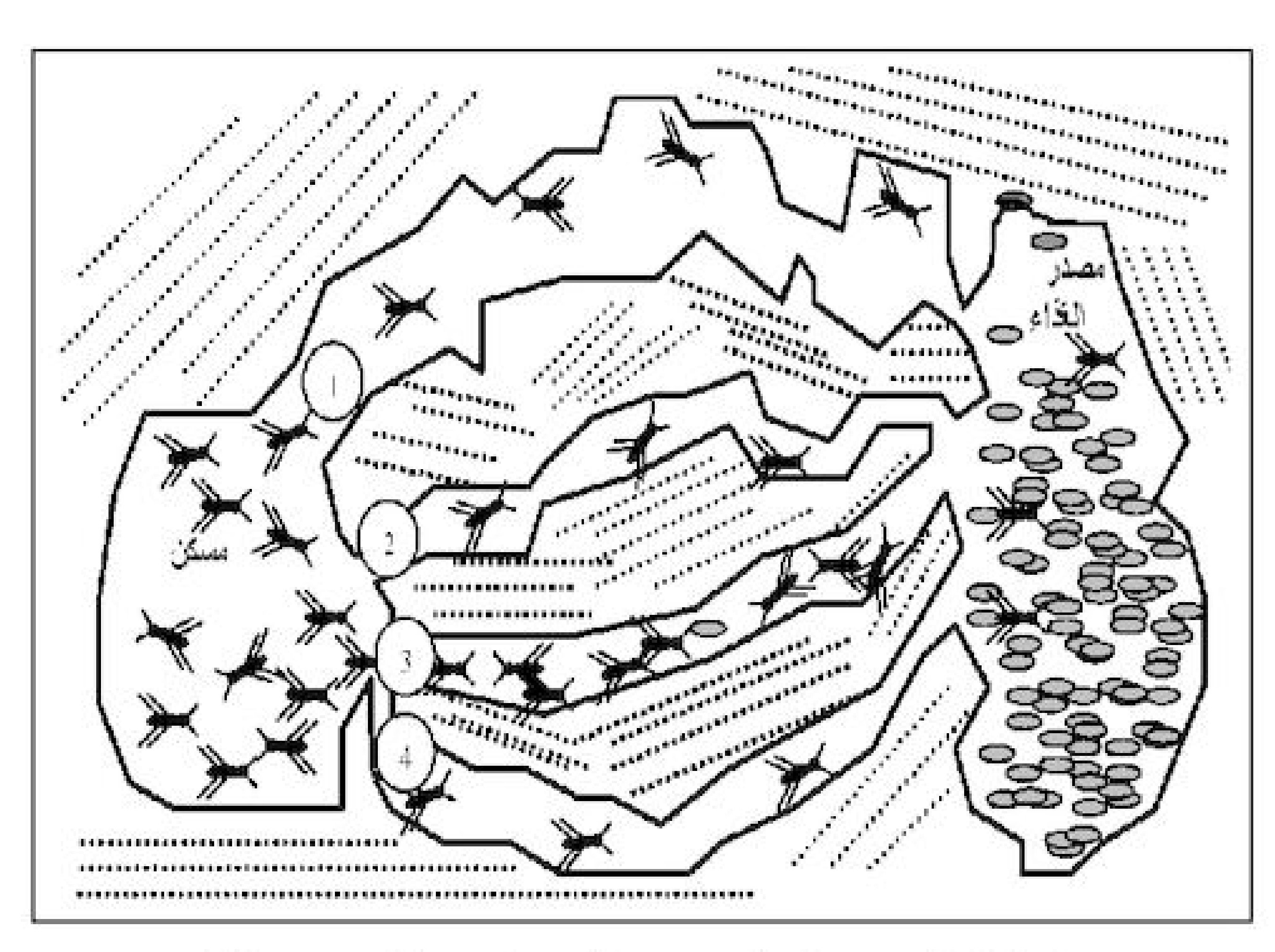
المبدأ الطبيعي لعمل مجموعة النمل:

النمل كائنات حية شبه عمياء وعديمة الذاكرة وذات دورة حياة قصيرة الأمد ومع ذلك تتمتع بالقدرة العظيمة على تشكيل شبكة نموذجية من المسالك بين مساكنها وأماكن تواجد الغذاء. في البداية يسلك النمل عشوائيا المسارات 1، 2، 3، و4 كونه لا يملك أي معلومات عن المسار الأفضل كما هو موضح في الشكل 1.9. تتواصل النملة الطبيعية مع بقية أفراد مجموعتها خلال عمليات البحث عن مصادر الغذاء باستخدام مادة كيميائية (Pheromone) تفرزها على المسار الذي تسلكه. تتحسس بقية أفراد منظومة عمل النمل المنتشرة عشوائيا هذه المادة وتتبع المسار الحاوي عليها لتصل بذلك إلى مكان وجود النملة التي اكتشفت المصدر الغذائي أولاً. كلما زاد حجم المادة الكيميائية المفرزة على هذا المسار ازداد انجذاب النمل إليه وهذا يعني أن حركة النمل على هذا المسار كبيرة ومتزايدة كونه المسار المثالي (الأقصر والأسهل) بين المسكن ومصدر الغذاء كما هو موضح في الشكل 2.9 (المسار3)

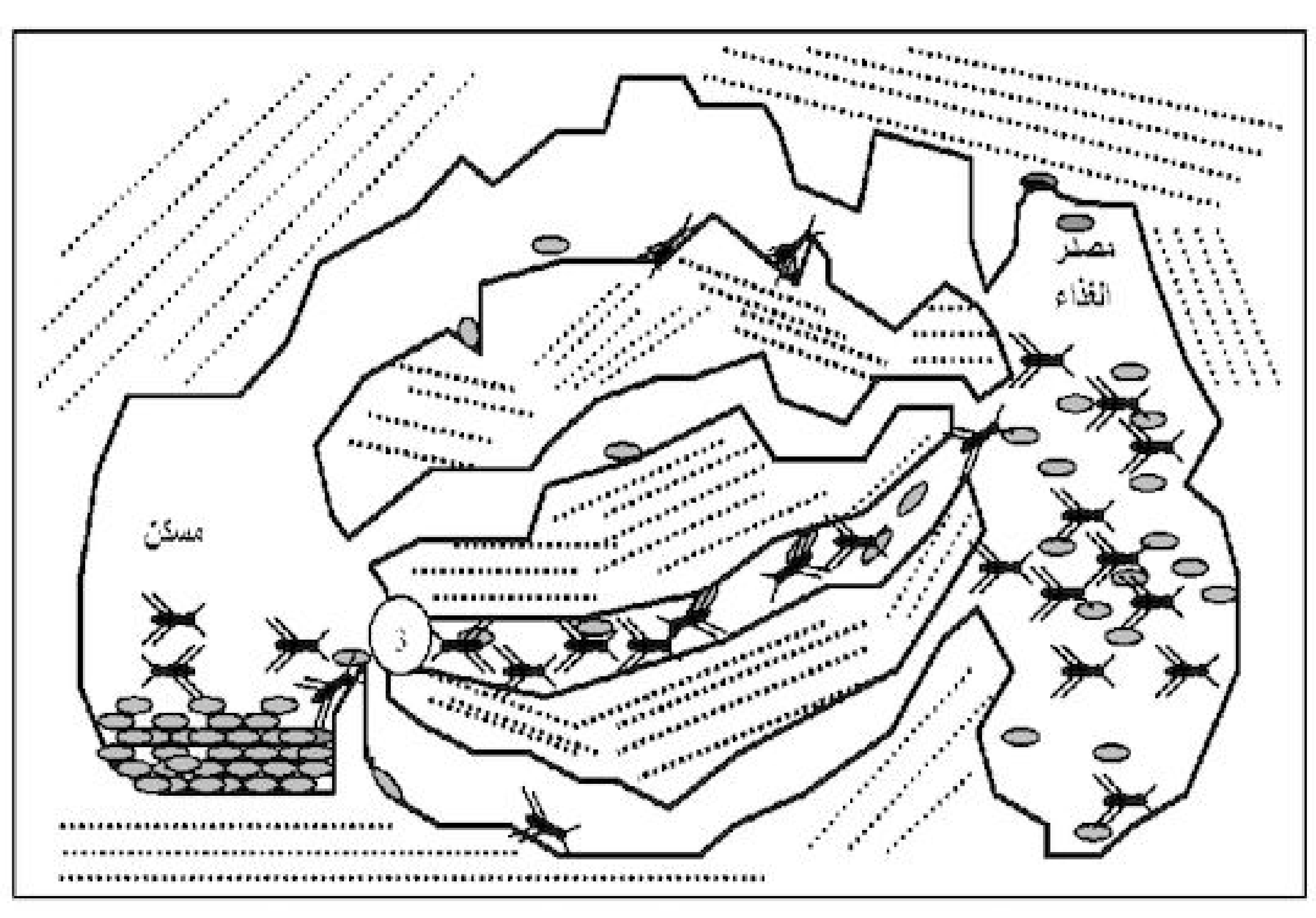
المبدأ الميتاهيروستيكي لنمذجة عمل منظومة عمل النمل:

لشرح مبدأ نمذجة عمل منظومة عمل النمل في تصميم الشبكات الجيوماتيكية، تم استخدام شبكة صغيرة مكونة من خمس نقاط تسوية (,i, j, k, l

m) كما هو موضح في الشكل 3.9. تختار النملة المتمركزة على النقطة i الانتقال إلى النقاط المجاورة باستخدام مصدرين للمعلومات.



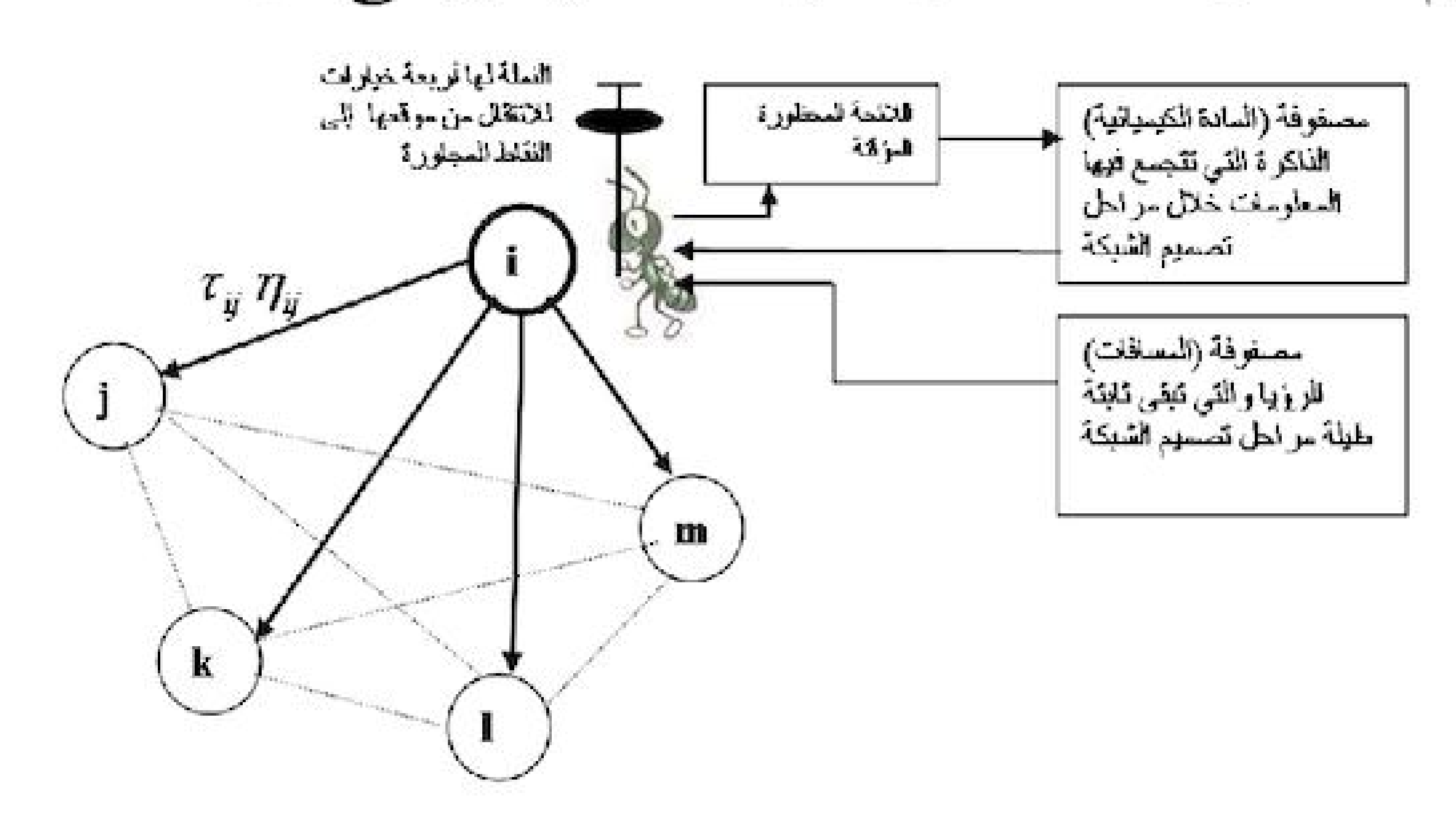
الشكل 1.9 مجموعة النمل تبحث بشكل عشوائي عن أماكن وجود الغذاء



الشكل 2.9 مجموعة النمل تتبع المسار المثالي رقم 3 بين مصدر الغذاء والمسكن

يمثل المصدر الأول مصفوفة الرؤيا المكونة من المسافات الفاصلة بين نقاط الشبكة والتي تبقى ثابتة طيلة مراحل التصميم وهدف هذه المصفوفة مساعدة النملة على اختيار أقرب النقاط المحيطة بموقع وجود هذه النملة. يُمثل

المصدر الثاني مصفوفة الذاكرة المكونة من قيم المادة الكيميائية المفرزة على المسارات الواصلة بين نقاط الشبكة والتي تتغير خلال عمليات التصميم وهدف هذه المصفوفة مساعدة النملة على معرفة مدى استخدام هذه المسارات في مراحل التحسين السابقة. فالنملة أصبحت الآن وفقاً للمبدأ الميتاهيروستيكي تتمتع بصفتي الرؤيا والذاكرة اللتين تساعداها بسرعة على معرفة وإيجاد المسارات الأكثر فعالية. عند تطبيق خوارزمية منظومة عمل النمل يتم تحديد عدد المحاولات التكرارية (Iterations) اللازمة للحصول على أفضل تصميم ممكن. تُعرف المحاولة التكرارية بالزمن اللازم الذي يحتاجه الحاسوب لإيجاد التصميم المناسب خلال الدورة الواحدة لعمل البرنامج (Loop).



الشكل 3.9 اختيار النقاط الواجب رصدها باستخدام مفهوم مبدأ نمذجة عمل منظومة عمل النمل

تساعد المحاولات التكرارية النملة على امتلاك دورة حياة أطول لإيجاد أفضل تصميم ممكن (حتى نهاية عمل البرنامج للاستفادة من المحاولات السابقة). لتوجيه عمليات البحث بشكل فعّال تزود كل نملة بوحدة مؤقتة لخزن وتجميع المعلومات الناتجة من كل محاولة. تُسمى هذه الوحدة باللائحة المحظورة وهدفها مساعدة النملة على تجنب المرور على النقطة أكثر من مرة واحدة خلال كل محاولة تكرارية. على افتراض أن النملة اختارت النقطة j لتنتقل إليها وبالتالي يتم إضافة هذه النقطة إلى اللائحة المحظورة لتجنيب هذه النملة من الانتقال ثانية إلى j خلال المحاولة التكرارية الحالية. تستمر النملة باستخدام نفس المبدأ عند التنقل بين النقاط الأخرى حتى رصد كافة نقاط الشبكة وبالتالي فاللائحة المحظورة تكون ممتلئة بالنقاط الخمس في نهاية المحاولة التكرارية الأولى. بعد نهاية كل محاولة تكرارية يتم تفريغ اللائحة المحظورة من محتوياتها ومن ثم يتم تجميع هذه المعلومات في مصفوفة الذاكرة ليتسنى بعدها

للنملة البدء بمحاولة تكرارية جديدة. عندما تبدأ النملة المحاولة التكرارية الثانية فأنها تتبع نفس الأسلوب الذي انتهجته في المحاولة التكرارية الأولى وتستمر في تنفيذ جميع المحاولات التكرارية المحددة مسبقاً حتى نهاية البرنامج والحصول على التصميم الأمثل. في نهاية عمل البرنامج (وبعد الانتهاء من تنفيذ جميع المحاولات التكرارية) يتم تجميع كل المعلومات الناتجة في مصفوفة الذاكرة التي تحوي كل المسارات المتشكلة وعندها يتم اختيار التصميم النهائي المكون من المسارات المثالية.

تختلف مدخلات (Inputs) ومخرجات (Outputs) خوارزمية منظومة عمل النمل وفقاً لحجم وطبيعة المسألة المراد معالجتها. فعند نمذجة خوارزمية النمل في حال تصميم الشبكات الجيوماتيكية يجب اختيار المدخلات بعناية كبيرة وذلك وفقاً لحجم وشكل الشبكة المراد تصميمها حيث إن المدخلات تتكون من العناصر الأساسية للشبكة وعوامل التحكم لعمل الخوارزمية. تقوم العناصر الأساسية بتحديد الأسلوب الواجب تطبيقه لنمذجة الشبكة الجيوماتيكية لكي تتناسب مع إطار عمل خوارزمية النمل وتتألف من مصفوفة المسافات وعدد النمل المستخدم ومواقع نقاط الانطلاق البدائية لعمل النمل واللوائح المحظورة الخاصة بكل نملة. أما عوامل التحكم فتعتمد بشكل رئيسي على المعلومات المتعلقة بالمادة الكيميائية لضبط عمل الخوارزمية وتتألف من عامل الكثافة وعامل الجودة وعاملي التعديل المحلي والشامل وصيغة إيقاف عمل الخوارزمية. أما المخرجات فتتكون من كلفة خطة التصميم النهائي وعدد المحاولات التكرارية وقيمة الزمن الحسابي اللازمين لإيجاد هذا التصميم. يتم تصميم الشبكة الجيوماتيكية وفق المراحل التالية:

مرحلة إنشاء التصميم الأولي

ابتداء من النقطة i تختار النملة mالانتقال إلى النقطة j وفقاً للمبدأ الاحتمالي P للمعادلة التالية:

(1)

$$P_m(i,j)=\begin{cases}\dfrac{\left[\tau_{(i,j)}\right]^{\alpha}\cdot\left[\eta_{(i,j)}\right]^{\beta}}{\sum_{k\in S_m(i)}\left[\tau_{(i,j)}\right]^{\alpha}\cdot\left[\eta_{(i,j)}\right]^{\beta}} & if\ \ j\in S_m(i)\\ 0 & otherwise\end{cases}$$

تُمثل η_{ji} المسافة الفاصلة بين j وi، τ_{ji} قيمة المادة الكيميائية المتراكمة على المسار ij والمشابهه لمفهوم الذاكرة (Memory)في علم البرمجة. تمثل α عامل التحكم بكثافة المادة الكيميائية المفرزة خلال عملية انتقاء النقاط المراد رصدها ويقصد بالكثافة هنا بأن المسار ij مرغوب كثيراً كونه تعرض لحركة سير كثيفة من قبل النمل. إذا كانت قيمة α مساوية للصفر فهذا يعني أنه لايوجد أي اتصال بين النمل وعندها يتم انتقاء أقرب النقاط لرصدها وفقاً لمصفوفة الرؤيا. أما إذا كانت قيمة αغير مساوية للصفر فهذا يعني وجود اتصال بين النمل وعندها يتم اختيار النقاط لرصدها وفقاً لمصفوفتي الرؤيا والذاكرة معاً. أما β فتمثل عامل التحكم بجودة المسار ij المتناسبة مع قصره وكمية المادة الكيميائية المتراكمة عليه ويقصد بالجودة هنا أن النقاط الأكثر مناسبة للرصد يجب اختيارها باحتمالية عالية. تمثل Sm(i) مجموعة النقاط الباقية الواجب رصدها من قبل النملة m المتمركزة على النقطة i.

مرحلة تعديل المادة الكيميائية

في البداية يتم توزيع القيم الأولية للمادة الكيميائية بشكل متساوٍ على كافة المسارات الواصلة بين نقاط الشبكة ويُفضل أن تكون قيمتها صغيرة جداً (تتراوح بين الصفر والواحد). يقوم النمل في كل انتقال بتعديل مستوى هذه المادة على المسارات التي تم المرور عليها ويُسمح للنملة التي تجد المسار المقبول بإفراز المادة لزيادة التأثير على بقية النمل وتوجيه عمليات الاستكشاف نحو المسارات المناسبة في حين يُمنع القسم الآخر من النمل الذي يجد المسارات غير المناسبة من متابعة إفراز وتعديل المادة (أي يتم تخفيض مستوى الذاكرة على المسارات غير المناسبة لتقليل استخدامها). فالغاية من زيادة تأثير المادة الكيميائية على المسارات المناسبة هو جذب باقي النمل إليها وتركيز عمليات البحث حولها للإسراع في إيجاد التصميم المثالي. تمثل كمية المادة الكيميائية المفرزة آلية الاتصال بين مجموعات النمل للمشاركة بالمعلومات المفيدة والتعاون في إيجاد التصميم المثالي. يقوم النمل بتعديل المادة الكيميائية على مرحلتين:

مرحلة التعديل المحلي (Local Updating) : تقوم كل نملة بإجراء عملية التعديل الجزيء لمستوى المادة الكيميائية على المسارات المجاورة لها باستخدام المعادلة التالية:

(2)

$$\tau_{(i,j)} \leftarrow (1-\varphi)\cdot\tau_{(i,j)} + \varphi\cdot\tau_0$$

تمثل φ عامل التعديل المحلي للمادة الكيميائية، τ0 المستوى البدائي لهذه المادة حيث تُعطى قيمة ثابتة إيجابية موزعة بشكل متساوٍ على كافة مسارات الشبكة. إن الغاية من عملية التعديل المحلي هو مساعدة النملة على توسيع عملية البحث والتفتيش عن المسارات المناسبة في كل مرحلة جزئية.

مرحلة التعديل الشامل (Global Updating) : عندما ينتهي النمل من بناء التصميم الأولي للشبكة فإنه يتعاون مع بعضه البعض بتبادل المعلومات عن المسارات الجيدة ويقوم بإجراء التعديل الشامل للمادة الكيميائية على جميع المسارات التي تنتمي لأفضل تصميم ناتج باستخدام المعادلات الآتية:

(3)

$$\tau_{(i,j)} \leftarrow (1-\rho)\cdot\tau_{(i,j)} + \rho\cdot\Delta\tau_{(i,j)}$$

(4)

$$\Delta\tau_{(i,j)} = \begin{cases} (C_m)^{-1} & if(i,j) \in Global - Best - Schedule \\ 0 & oherwise \end{cases}$$

تمثل ρ عامل التعديل الشامل للمادة الكيميائية وCm قيمة أفضل تصميم تم الحصول عليه منذ البداية من قبل النملة m. إن الغاية من مرحلة التعديل الشامل السماح فقط للنملة التي وجدت المسارات الجيدة بإفراز المادة الكيميائية على المسارات التابعة لأفضل تصميم ناتج عليه بغية تركيز عمليات البحث حول هذه المسارات.

3.9 التطبيقات العملية لخوارزمية منظومة عمل النمل في دعم منظومة الإنذار المبكر لإدارة الكوارث

تحتاج الشبكات الجيوماتيكية الكبيرة ذات الأشكال المختلفة زمناً حسابياً طويلاً لتصميمها حيث إن المبدأ العملي المتبع للتصميم كما هو موضح في الفقرة الثالثة يتم بتطبيق خوارزمية منظومة عمل النمل عمليات التحسين المتتالية على

خطة العمل البدائية للتصميم الأولي للشبكة حتى إيجاد التصميم النهائي. تم استخدام خوارزمية منظومة عمل النمل في تصميم شبكتين كبيرتين ومختلفتين في الشكل في مالطا وسيشيلز. تتألف شبكة مالطا المثلثية (Triangulation) من 38 قياس زمني تصل 25 نقطة تسوية موزعة على كامل الشبكة كما هو موضح في الفصل السادس. تم رصد هذه القياسات على مرحلتين: المرحلة الأولى تتكون من 22قياساً زمنياً رصدت باستخدام جهازين استقبال وأما المرحلة الثانية فتتكون من 16 قياساً زمنياً رُصدت باستخدام ثلاثة أجهزة استقبال. لتقييم فعالية عمل هذه الخوارزمية وإجراء المقارنة الفعلية تم تطبيق هذه الخوارزمية على الخطة العملية للتصميم الأولي ذات القيمة 1405 دقيقة. إن قيمة خطة العمل النهائية للتصميم الأكثر مناسبة لشبكة مالطا قد انخفضت بعد 80 محاولة تكرارية (Iterations) إلى 895دقيقة وخلال زمن قدره 425ثانية.

أما شبكة سيشيلز الخطية (Linear)فتتألف من 71قياساً زمنياً تصل 75 نقطة تسوية موزعة على كامل الشبكة كما هو موضح في الفصل السابع. تم رصد هذه القياسات الزمنية باستخدام ثلاثة أجهزة استقبال. بتطبيق خوارزمية منظومة عمل النمل على خطة العمل الأولية ذات القيمة 994دقيقة فإن قيمة تنفيذ خطة العمل النهائية للتصميم المثالي انخفضت بعد 100 محاولة تكرارية إلى 853 دقيقة بزمن حسابي قدره 1700 ثانية. في كلا الشبكتين أنتجت خوارزمية منظومة عمل النمل المبرمجة بلغة ++Cتصاميم مثالية بأقل كلفة وزمن حسابي ممكنين مقارنة مع الخوارزميات الأخرى التي تم تطبيقها على نفس الشبكات المذكورة. لتقيم فعالية خوارزمية منظومة عمل النمل في تصميم الشبكات الكبيرة يجب تحديد مقدار التخفيض النسبي (Relative Reduction of the Cost RRC) في قيمة كلفة خطة العمل الأولية بالنسبة لخطة العمل النهائية لنفس الشبكة المرصودة. تُحدد قيمة التخفيض النسبي في تابع الكلفة باستخدام المعادلة الآتية:

(5)

$$RRC=\left\{\frac{\text{Cost of the Initial Design - Cost of the Best Found Design}}{\text{Cost of the Best Found Design}}\right\}\times 100$$

كلفة التصميم الأولي Cost of the initial Design

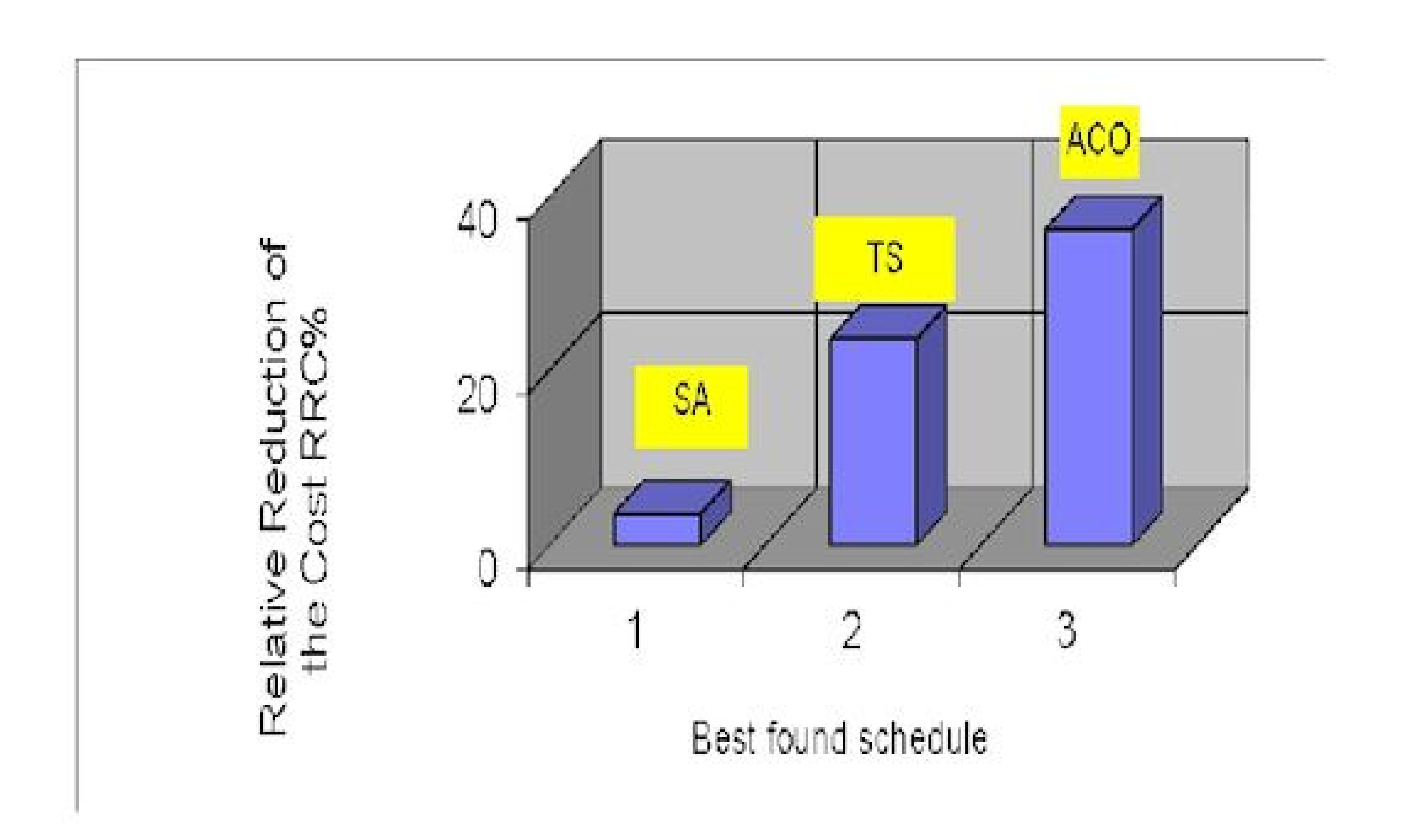
كلفة التصميم النهائي Cost of the Best Found Design

إن المبدأ العملي لتصميم هذه الشبكات يتم بتطبيق عدة خوارزميات على نفس الشبكة ومن ثم إجراء المقارنة بين جودة التصاميم الناتجة من كل خوارزمية والسرعة الحسابية للحصول على هذه التصاميم. يوضح الشكل 4.9 قيمة التخفيض النسبي في كلفة الخطة الأولية للتصميم المثالي لشبكة مالطا، أما الشكل 5.9 فيوضح قيمة التخفيض النسبي في كلفة الخطة الأولية للتصميم المثالي لشبكة سيشيلز. كما هو موضح من الشكلين السابقين لقد أعطت خوارزمية منظومة عمل النمل (ACO) أفضل النتائج للحصول على تصاميم جيدة مقارنةً مع الخوارزميات الأخرى كالبحث المحظور TSوالتلدين التجريبي SA. يبين الجدول 1.9 القيم العددية للنتائج الحاصلة من تطبيق هذه الخوارزميات على شبكتي مالطا وسيشيلز.

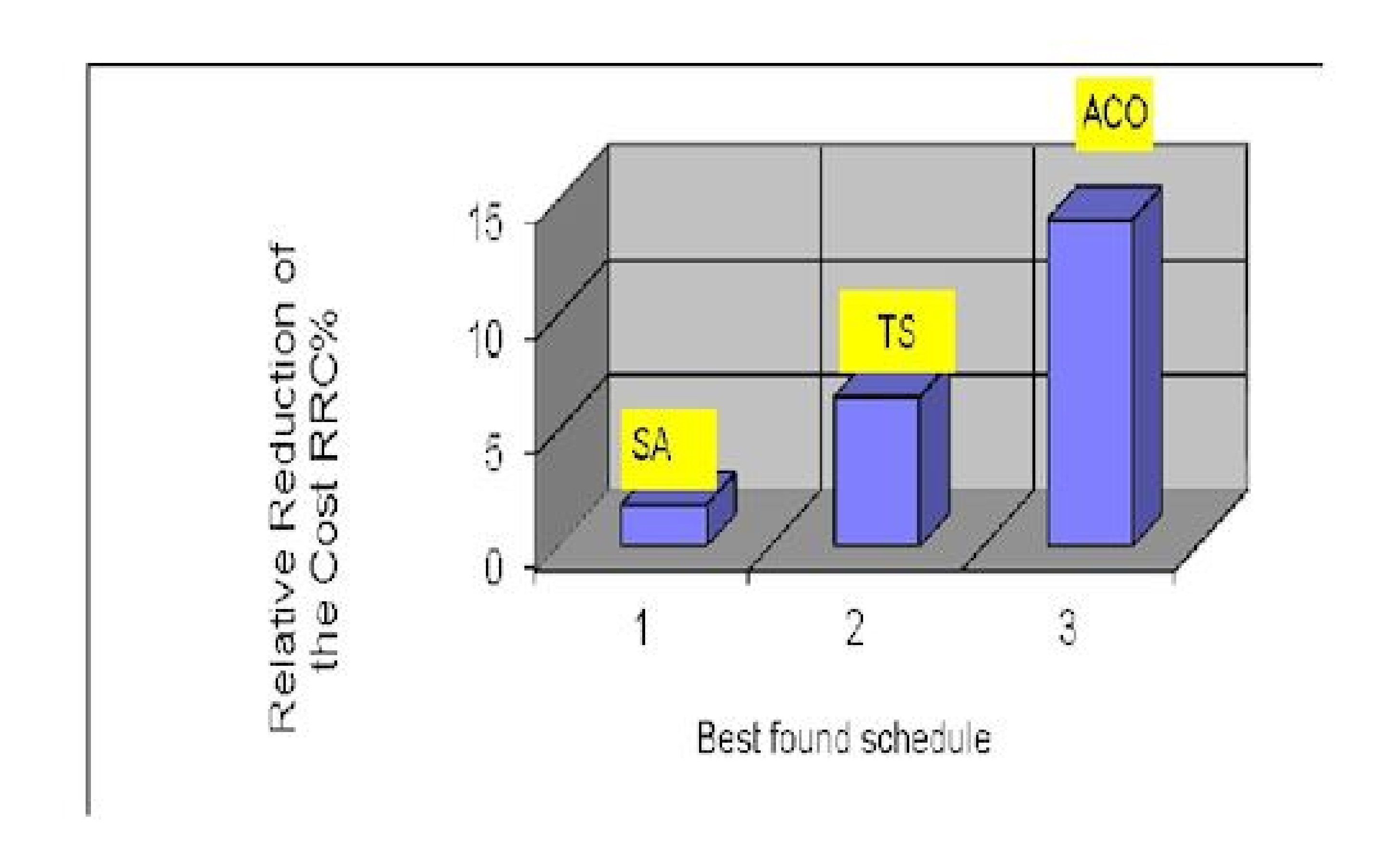
معلومات الشبكة الجيوماتيكية			الخوارزميات الميتاهيروستيكية								
			GPS-SA			GPS-TS			GPS-ACS		
الشبكة	N	C_{OS}	C_{SA}	K	ET	C_{TS}	K	ET	C_{ACS}	K	ET
مالطا المثلثية	38	1405 min	1355 min	14880	425 sec	1075 min	28	6 sec	895 min	80	44 sec
سيشليز الخطية	71	994 min	976 min	115920	1700 sec	933 min	20	40 sec	853 min	100	153 sec

جدول 1.9 النتائج الحاصلة من تطبيق الخوارزميات الميتاهيروستيكية على شبكتي مالطا وسيشيلز

تمثل N عدد القياسات الزمنية، COS كلفة خطة التصميم الأولي، CSA كلفة خطة التصميم الأكثر مناسبة الناتج من تطبيق خوارزمية التلدين التجريبي، CTS كلفة خطة التصميم الأكثر مناسبة الناتج من تطبيق خوارزمية البحث المحظور، CACO كلفة خطة التصميم المثالي الناتج من تطبيق خوارزمية منظومة عمل النمل، K عدد المحاولات التكرارية وET قيمة الزمن الحسابي اللازم (بالثانية) لإيجاد التصميم المثالي. إن الاختيار المناسب للقيم الأولية لعوامل التحكم في بداية عمل الخوارزمية يساعد جداً في تسريع عمليات البحث والحصول على التصميم المثالي. تتغير طبيعة وقيم هذه العوامل وفقاً لأبعاد وشكل الشبكة المرصودة حيث إنه لا يوجد قانون أو قاعدة عامة يمكن تعميمها لتحديد القيم الفعلية لهذه العوامل وإنما بالتجربة والخبرة العملية والهدف المراد من التصميم.



الشكل 4.9 مقدار التخفيض النسبي في كلفة تصميم شبكة مالطا بتطبيق الخوارزميات الميتاهيروستيكية



الشكل 5.9 مقدار التخفيض النسبي في كلفة تصميم شبكة مالطا بتطبيق الخوارزميات الميتاهيروستيكية

يتم حالياً تطبيق الخوارزميات الميتاهيروستيكية في وضع المنهجية العملية لمعالجة بيانات الخرائط التكتونية والمعطيات الزلزالية في سوريا والدول المجاورة (كنشاط الفوالق والتحركات الأرضية وتحديد سلوكها وتوقع حدوث الزلازل الكبيرة ومدى تأثيرها على السكان والمنشآت، إلخ). تؤمن هذه المنهجية المرونة المناسبة لمعالجة الحجم الهائل للبيانات المجمعة بشكل سريع واقتصادي ومن ثم إيجاد الحلول العملية لمعالجة تأثيرات هذه الفوالق. تؤمن هذه المنهجية الحصول السريع

على جميع المعلومات المتعلقة بمنطقة الدراسة عن طريق جمع البيانات اللازمة (كالزلزالية، والتكتونية، والطبوغرافية، والجيومورفولوجية، والجيولوجية، إلخ) في قاعدة بيانات أساسية ومن ثم تطبيق طرق التحليل المتقدمة التي تقود إلى المساهمة العميقة في فهم الوضع التكتوني الإقليمي الذي يساعد في توضيح النطاقات الزلزالية وتحديد قيم تنبؤ النشاط الجيوديناميكي لمناطق الفوالق النشطة والصدوع الموزعة على المنطقة المدروسة وتحديد العلاقة الدقيقة بين درجة الاهتزاز الأرضي وحجم الزلزال المتوقع والأضرار الناجمة. أيضاً تساعد هذه المنهجية في تأمين الدعم الفعال لاتخاذ القرار في اختيار المواقع المناسبة لإقامة المواقع الحيوية والمشاريع الإستراتيجية كالسدود ومحطات توليد الطاقة وتمديد أنابيب النفط والغاز، إلخ. يمكن تعميم هذه المنهجية بنجاح لتشمل منطقة فالق الانهدام العربي والفوالق الأخرى في الوطن العربي وهذا يدعم المساهمة الفعالة لتحقيق النظام المتكامل الذي يقود إلى تخفيف أضرار وخطر الكوارث المختلفة التي تتعرض لها بلادنا العربية كالزلازل والفيضانات وغيرها.

منظومة الإنذار المبكر

تُعرف منظومة الإنذار المبكر عن الكوارث (Disaster Warning Network DWN) وفقاً لمفهوم التحسين الميتاهيروستيكي بالتصميم المكون من مجموعة العناصر الأساسية التي يمكن نمذجتها في معادلات الدقة ومعايير الأمان لمجموعة الأقمار الصناعية المرتبطة بنقط المراقبة الموزعة على كامل الشبكة الجيوماتيكية التي تغطي منطقة الكارثة. تتكون هذه العناصر من محطات الرصد الثابتة، محطات المراقبة، مجموعة الأقمار الموجودة في مجال هذه المحطات، زوايا الميول لهذه الأقمار، إلخ. يتم إيجاد الحدود العظمى لتحسين فعالية عمل كامل المنظومة بدمج عوامل الدقة والأمان بالنموذج الديناميكي الميتاهيروستيكي الذي يحدد الجودة النسبية لعمل هذه المنظومة والمعطى بالمعادلة الآتية:

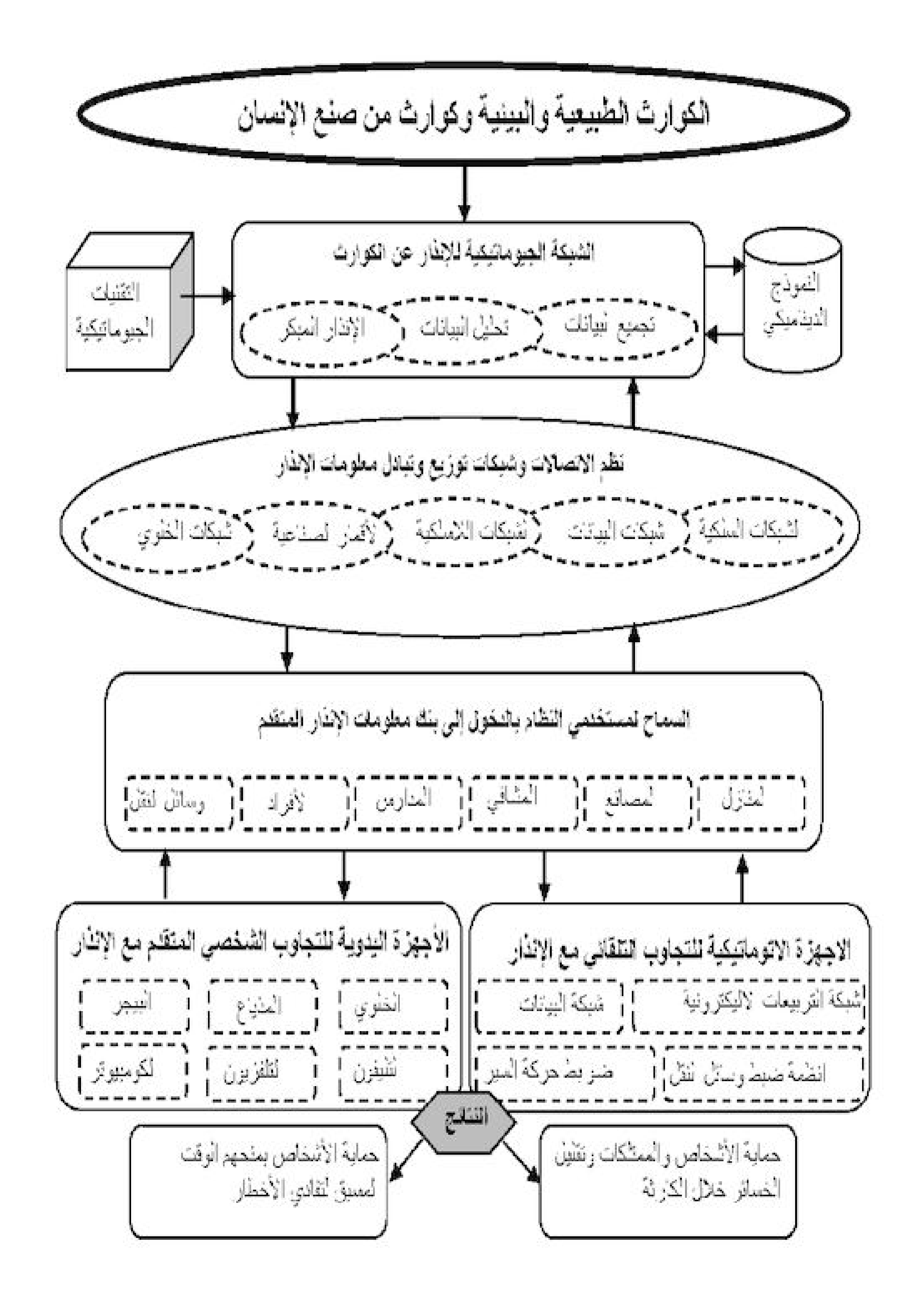
$$F_{DWN}(n) = \sum_{s=1}^{M} P_s \left(f_{acy}^{s} - f_{ing}^{s} \right) \quad (6)$$

تمثل F_{DWN} النموذج المتكامل للمنظومة وP_s عامل قياس حجم العمل المراد تنفيذه عند الموقع S من منطقة الكارثة و $f^s{}_{acy}$ عامل الدقة عند الموقع S و $f^s{}_{ing}$ عامل الأمان عند الموقع S وM عدد المواقع العملية في منطقة الكارثة و nعدد المحاولات التكرارية الواجب تطبيقها على النموذج لإيجاد التصميم الأمثل للمنظومة. تهدف هذه المقالة إلى تصميم وتطوير أدوات دعم اتخاذ القرار المبنية على الخوارزميات الميتاهيروستيكية وطرق المحاكاة الحاسوبية لتحسين الصيغة العملية للحصول على الحلول المثالية التي تساعد في تخفيف مستوى التشويش في الإنذار وتسريع عملية إيصال المعلومات إلى فرق الإنقاذ في الوقت المناسب. تتصف هذه الخوارزميات بقدرتها الديناميكية على التعامل مع العناصر الثابتة والمتغيرة الخاصة بالكارثة بالإضافة إلى انتقاء المعلومات المهمة من قاعدة البيانات الأساسية الضخمة المرتبطة بمنظومة الإنذار المبكر والحاوية على كل المعلومات الضرورية. تم تجميع هذه البيانات باستخدام وسائل القياس والرصد المختلفة كالاستشعار عن بعد وأجهزة الرصد الزلزالي ونظم المعلومات الجغرافية والإنترنت وتقنيات معاينة الهواء والماء والتربة، إلخ. على سبيل المثال، إن دراسة ومراقبة تلوث الهواء عملية مكلفة ومعقدة وتتطلب أعداداً هائلة من نقط المراقبة كون تأثير تلوث الهواء محلي غير متجانس ويتغير بشكل واضح وكبير من مسافة إلى أخرى. إن التقنيات المستخدمة حالياً غير قادرة على تأمين التمثيل الفراغي للوضع البيئي العام المتلوث ومصادر هذا التلوث، وينقصها أيضاً القدرة على اختيار المعلومات الضرورية من قاعدة البيانات الأساسية. لتأمين الإدارة المتكاملة لمراقبة الوضع الكارثي الناتج عن تلوث الهواء فإنه من الضروري فهم التغير والتوزيع الجغرافي لبواعث وتوزع هذه الملوثات وامتلاك كل المعلومات حول مستويات التلوث الآني لكامل مساحة منطقة التلوث وخاصة الأجزاء غير المجهزة بنقط المراقبة لكي يتم تبيان الانتشار الفراغي الدقيق لتلوث الهواء. إن هذه المنظومة المزودة بقاعدة البيانات الرئيسية والمرتبطة بالنموذج الديناميكي الميتاهيروستيكي تستطيع بشكل فعَّال:1) إيجاد الحدود العظمى لتحسين مراقبة وضبط عملية التلوث (مقارنة مع الطرق التقليدية المعمول بها حالياً) وذلك بالحصول السريع على جميع المعلومات الدقيقة الخاصة بانبعاث الملوثات، 2) إيجاد الوصف المفصل للوضع

الراهن باستخدام التمثيل الفراغي والتحليل البياني للنتائج الحاصلة، 3) تأمين عدة سيناريوهات متعددة ومختلفة لمستوى التلوث والتي تساعد في تقييم جودة الهواء وتقدير الخطر الناتج. تؤمن هذه الإستراتيجية المتكاملة لإدارة وتنظيم الكوارث بشكل علمي الحلول التي ليست مثالية فقط فيما يتعلق بالوضع الحالي لإدارة الكارثة، بل أيضاً فيما يتعلق بالتغيرات المتوقعة للبيئة بعد حدوث الكارثة.

4.9 النموذج الديناميكي للمنظومة المتكاملة للإنذار عن الكوارث

حتى الوقت الحاضر، لم تستطع الجهود المبذولة في مجال الأبحاث العلمية والتقنيات المتقدمة لإدارة الكوارث وتخفيف آثارها أن تجد الحلول الناجعة لتدارك العواقب ومواجهة أخطار الكارثة قبل حدوثها. فمعظم الناس في منطقة الكارثة والذين تجاوبوا مع أعراض الكارثة قد أثبتوا بأن الدقائق القليلة الأولى التي تلي حدوث الكارثة مباشرة تُعتبر الوقت الأكثر أهميةً لتخفيف التأثير على الناس والأملاك حيث إن المعلومات الصحيحة والتجاوب السريع هما العاملان المهمان جداً للتجاوب مع تأثيرات الكوارث بعد حدوثها. ولكن من الخبرة الميدانية لفرق الإنقاذ وعمال الإغاثة فقد تبين إن الدقائق الأخيرة التي تسبق مباشرة بدء حدوث الكارثة تتسم بأهميتها القصوى بتخفيف حدة الأضرار على الناس والأملاك حيث إنه في هذه الدقائق الحرجة يتم اتخاذ الإجراءات الوقائية والضرورية التقليدية (كالإنذار والإسعاف وإخلاء المواقع وإيواء المنكوبين،الخ) لتجنيب وتخفيف الأضرار إلى أبعد حدود الإمكانية (UN/SIDR، 2006). تعرض هذه الفقرة المفهوم الجديد لعمل منظومة الإنذار المبكر (Disaster Warning System) المتكاملة والمواكبة للتقدم التكنولوجي الذي يسمح بتكامل التقنيات الحديثة في إيصال الإنذار إلى موقع الكارثة بالسرعة القصوى والتجاوب مع تأثيراتها بأسلوب فعال يضمن تقليل الخسائر في الأرواح بشكل كبير. فنظام الإنذار الحديث المطلوب حالياً يجب أن يحقق سوية مجموعة الشروط المتضمنة وجوب إيصال الإنذار المبكر بشكل فعال إلى كافة الأجهزة والأدوات القادرة على تخفيف تأثير حدة جميع أنواع الكوارث الطبيعية والبيئية ومن صنع الإنسان وإيصال معلومات الإنذار إلى الناس في كل المواقع والأوقات.



الشكل 6.9 الإطار العام لعمل منظومة الإنذار المبكر عن الكوارث

يقوم النموذج الديناميكي المُعشق بخوارزميات الذكاء الاصطناعي والنمذجة (Modelling) والمحاكاة (Simulation) بربط أجزاء المنظومة بشبكات اتصالات حديثة وأنظمة بحث واسترجاع ذات سرعات عالية وواسعة النطاق تُيسير للعاملين التقنيين (Technical Users) الوصول إلى البيانات وتحليلها بغية استخدامها في صنع القرار ومساندة متخذي القرار. يجب أن تتوفر في المنظومة العناصر الضرورية والمتكاملة الآتية:

أ) استخدام أجهزة البث من نقطة إلى نقاط متعددة (Point To Multipoint) في كل الأوقات والأمكنة والتي تؤمن أفضل الطرق الموثوقة لبث الإنذارات عبر الشبكة اللاسلكية (Wireless R/F) حيث إن اسلاك شبكة مقاطع الدارات العامة (Public Switched Network) تفتقد ميزة البث الآني (Real Time) والآلي (Robustness) المهمتين في الإيصال السريع لمعلومات الإنذار وإن شبكات الإنترنت (Internet) والايثرانيت (Ethernet) تخضع للحمل الزائد (Overload) وانقطاع الطاقة (Power Failures) وتأخر كبير (Latency) في انجاز العمليات في أثناء مراحل الكارثة.

ب) قدرة أجهزة استقبال الإنذار على استقبال الإشارات المبثوثة بشكل مستمر ودائم لتؤمن بأسرع ما يمكن دعم عمليات التجاوب والطوارئ حيث إن الإشارات المنقولة بالشبكات اللاسلكية تصل إلى موقع الكارثة قبل غيرها من أجهزة الاتصالات الأخرى. يجب أيضاً أخذ كافة الاحتياطات اللازمة لتزويد أجهزة الاستقبال بالمولدات الخاصة بإنتاج الطاقة (Battery Power Capability) خلال أوقات انقطاع التيار الرئيسي لتزويد الكهرباء.

ج) تحتوي المنظومة على مجموعة واسعة من أجهزة الاستقبال القادرة تلقائياً على تشكيل كافة التجاوب البشري والمؤتمت (Human And Automated Responses) حيث إن الكوارث المختلفة تتطلب نماذج ومستويات مختلفة من التجاوب، فكارثة الزلازل ذات وقت الإنذار القصير (Very Short Warning Time) تتطلب تجاوب كامل وترابط أتوماتيكي بين الحساسات (Sensors) والمحرضات (Activators) وأجهزة تحكم الحواسيب لتؤمن بشكل فعال عملية تخفيف الأضرار دون الحاجة إلى تدخل العنصر البشري. أما التجاوب البشري فيتطلب دعماً مسبقاً بأجهزة التجاوب المبرمجة (Pre-Programmed Responses) لاستخدامها في الحالات التي يكون فيها التجاوب البشري غير متوفر ولايمكن أن يعول عليه (فمثلاً الناس نائمون أو غير متواجدين أو ينسون التجاوب أو ببساطة يتم تجاهل الإنذارات).

د) تقوم المنظومة آنياً عبر أجهزة الحواسيب الثابتة والمحمولة والمرتبطة بالشبكة اللاسلكية بكافة عمليات تجميع البيانات والتحليل النموذجي للكارثة لتأمين مصدر وحيد لإيصال معلومات الإنذار المبكر عن كافة التهديدات الخطرة (All Hazard Warning)، ومنع حدوث الازدواجية في استخدام أجهزة الإنذار، وتنظيم التجاوب ضمن معايير ثابتة تحقق بشكل أكثر جديةً التواجه المباشر مع

الناس (human interface)، وتسمح بشكل أكثر فعاليةً توَّضع مصادر الإنذار (efficient allocation of resources) وتقليل الكلفة الإجمالية بالنسبة للشبكة ولمستخدمي الشبكة.

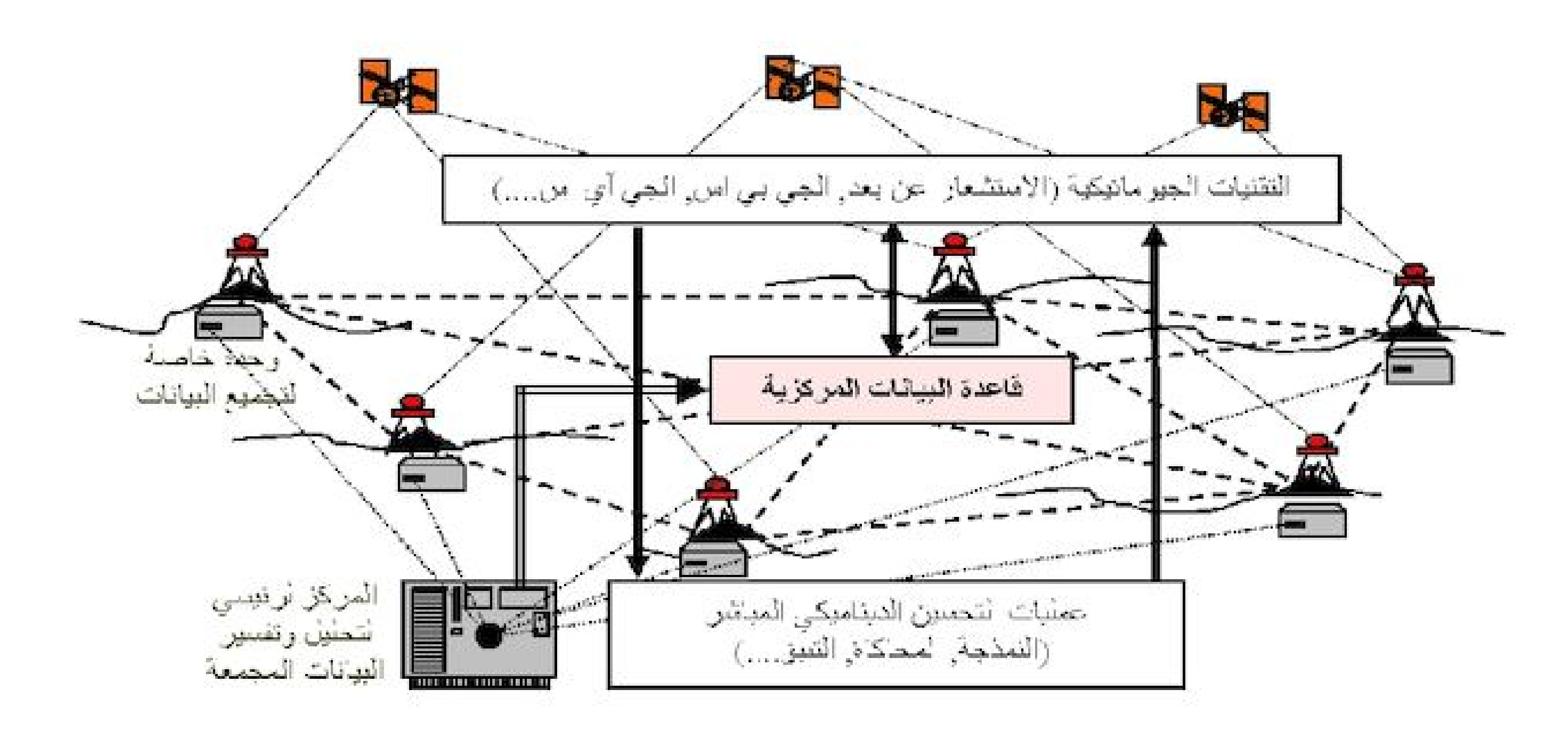
هـ) تزيل المنظومة الإنذارات الوهمية وغير الحقيقية (failed and false warnings) لتزيد بذلك دقة معلومات الإنذار وبالتالي زيادة ثقة الناس بمصداقية وجدية عملية الإنذار وعدم تجاهلها أو الاستخفاف بها والتعامل والتجاوب معها كونها الوسيلة الوحيدة لحماية الأرواح والأملاك. أيضاً يجب أن تُرسل المعلومات باستمرار إلى الناس في منطقة الخطر الفعلي للكارثة التي تتزايد حدتها وتأثيراتها مع الوقت وهذا سوف يزيد من ثقة الناس وقناعتهم بعمل المنظومة.

ولتحقيق النقاط المذكورة أعلاه، يجب أن تستخدم المنظومة بفعالية كل التقنيات المتاحة مجتمعة وضمن شبكة وحيدة متكاملة تحقق الميزات التالية: 1) المعرفة الآنية والمباشرة لكافة معلومات الكارثة كالشدة والموقع والسرعة والاتجاه وتغّير هذه المعلومات مع تطور الكارثة والتحليل التفصيلي لها باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، 2) المعرفة الآنية والمباشرة للموقع الجغرافي (الطول والعرض) (Long/Lat) لمستخدمي للمنظومة وكيفية القيام بالوسائل الضرورية لتخفيف حدة الكوارث باستخدام تقنيات تحديد المواقع ونظم المعلومات الجغرافية، 3) قدرات المعالجة الآنية للمعلومات والمعطيات (Real Time Processing Capability) المتوفرة لتحديد مستخدمي الإنذار قبل بدء تُأثير الكارثة وخاصة المتواجدين في دائرة الخطر الفعلي. يتم عمل الشبكة الجيوماتيكية للإنذار عن الكوارث ضمن ثلاث مراحل عملياتية:

I) مرحلة التحسس والتقاط إشارات الإنذار (detection): في بداية عمل الشبكة تقوم كافة أجهزة التحسس والملاحقة (sensors and detectors) آنياً وباستمرار في تحديد وتجميع بيانات الموقع والسرعة والشدة للكارثة، ومن ثم تقوم أجهزة الإرسال (transmitters) ببث هذه المعلومات إلى المركز المركزي (central processing site) لمعالجتها وتحليلها آنياً. تتم عملية التحسس وتجميع الإشارات لكل إقليم بشكل مستقل بتزويده بالحساسات المناسبة التي يتم تشّبيكها مع أجهزة عمل شبكة والمكونة من رادار دوبلر (land based Doppler radar) وحساسات الرعد (lightning sensors) وحساسات مراقبة مياه الأمطار (rainfall monitoring sensors) وحساسات السيزموميتر (seismometers) وحساسات المد والجذر في المحيطات.

II) مرحلة تحليل البيانات (analysis): في هذه المرحلة يقوم مركز المعالجة المركزي آنياً ومباشرةً بتحليل كافة البيانات المجمعة من كل أقاليم المنطقة الواقعة تحت تأثير الكارثة باستخدام برامج الحواسيب والنمذجة وقاعدة البيانات ومن ثم التحديد الفوري لكافة معلومات الكارثة كطبيعة ودرجة شدتها واتجاهها والحدود الجغرافية للمنطقة الواقعة تحت تأثيرها وعدد الناس المعرضين للخطر الفعلي والواجب إنذاراهم الفوري بالخطر وموقعهم الجغرافي مع تحديث معلومات الإنذار باستمرار بالنسبة لقاعدة البيانات ولمستخدمي المنظومة.

III) مرحلة الإنذار (Warning): تتضمن هذه المرحلة النهائية بث معلومات الإنذار المُحدثَّة على شكل إشارات مشفرة (Encoded Instruction Signals) عبر شبكة الاتصالات اللاسلكية إلى جهات واسعة ومتنوعة في المنطقة المعرضة لخطر الكارثة. حيث يتم الاستقبال التلقائي والمبرمج لإشارات الإنذار والتجاوب معها أتوماتيكياً من قبل المنشآت المهمة والمزودة بأجهزة التنبيه كإغلاق خطوط نقل البترول (fuel shutoffs) وضبط وإقفال أنظمة الحواسيب (Control Or Shutdown Of Computer Systems) وأنظمة الرعد (Lighting Systems) وأنظمة البث الإلكتروني (Electrical Transmission Systems) ومخارج الطوارئ، إلخ، موفرةً بذلك الوقت لفرق الإنقاذ والطوارئ لتحضير الترتيبات العاجلة في تخفيف الخطر إلى حدوده الدنيا. تستخدم المنظومة أدوات الإنذار المرئية والمسموعة (Audible Or Visible Warning Devices) كأجراس الإنذار (Disaster Warning Sirens) وأجهزة الراديو الخاصة بالطوارئ (Emergency Disaster Radios) والتلفزيون وأجهزة الخلوي والتنبيه الشخصي، إلخ.



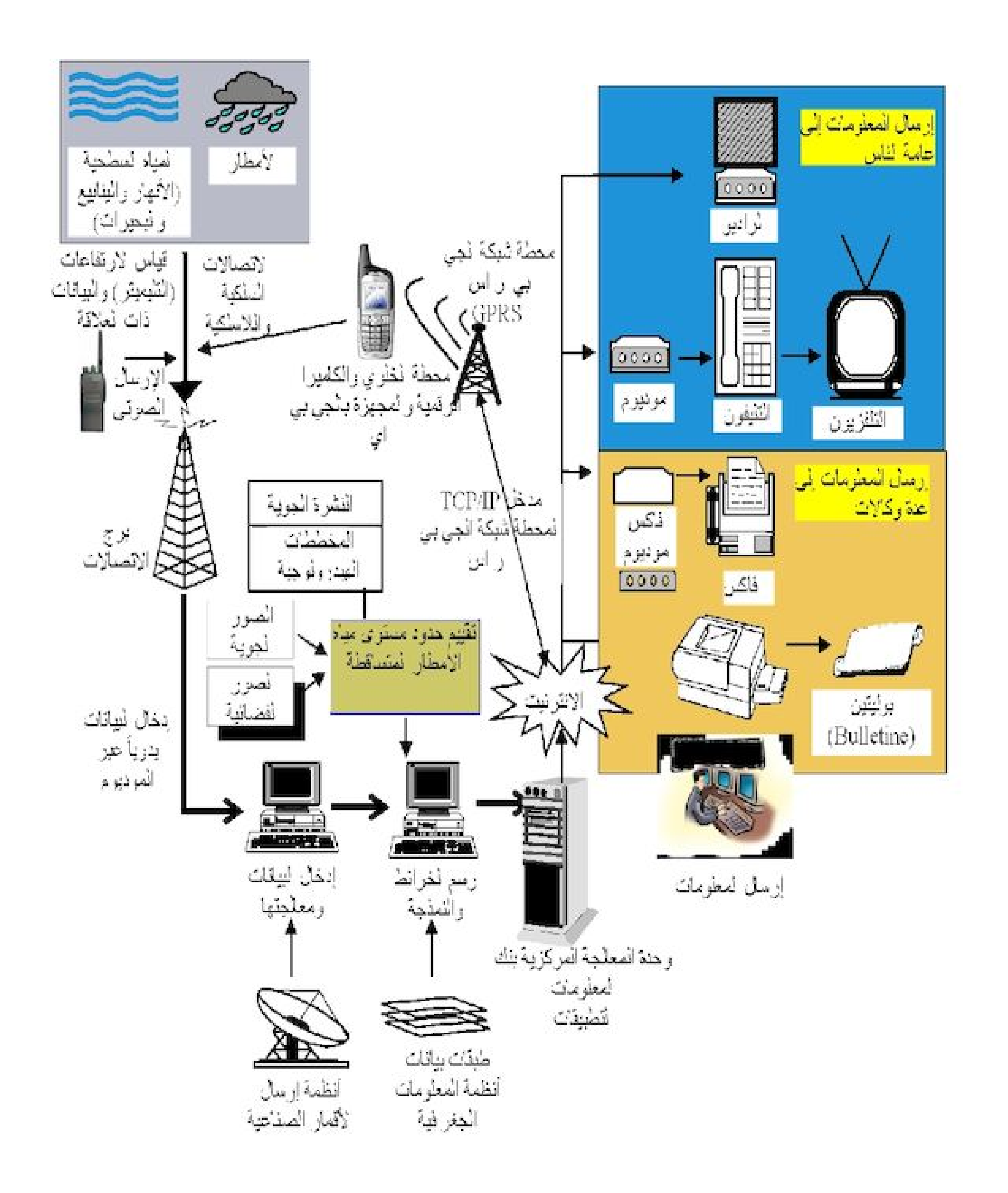
الشكل 7.9 الشبكة الجيوماتيكية التي تُشكل الأساس الفعلي لمنظومة الإنذار المبكر عن الكوارث

5.9 تكنولوجيا اتصالات المعلومات المستخدمة في منظومة الإنذار المبكر عن الكوارث

بالرغم من تزايد آثار الكوارث وتعاقبها باستمرار في شتى أنحاء العالم، إلا أنه من الممكن وبدرجة عالية الحد من الخسائر والأضرار المقترنة بها وتخفيف خطرها في كل مراحل إدارة الكارثة من خلال تضمين تطبيقات وخدمات تكنولوجيا اتصالات نقل المعلومات (Information Communication Technology) في أنظمة الإنذار المبكر المكونة من عدة وحدات عمل رئيسية وفرعية تتكامل وتتواصل مع بعضها البعض بشبكة كبيرة ومتشعبة من قنوات الاتصالات. فعلى الجهة البعيدة عن موقع الكارثة توجد السلطة المركزية لإدارة عمليات والطوارئ التي تراقب باستمرار الوضع العام لتحولات وتغيرات خطورة الكارثة ومن ثم تقوم بتبليغ الإنذارات إلى الجهة الأخرى حيث تتواجد التجمعات البشرية وعمال الطوارئ والإنقاذ في الموقع المعرض لخطر الكارثة. وبين هاتين الجهتين يكون الدور المهم والحرج لإدارة نظم الاتصالات ووسائل الإعلام (Media) بإيصال معلومات الإنذار بشكل سريع ودقيق إلى محتاجي هذه المعلومات ومن ثم تلقي ردود الأفعال والنتائج الحاصلة وإرسالها ثانية إلى الإدارة المركزية باستمرار لتقييم وتقدير الآثار الناجمة عن الكارثة ومتابعة تحسين عمليات الإنقاذ والإمداد. تستخدم هذه النظم في عملها خلال كل مراحل إدارة الكارثة تقنيات وأجهزة متعددة تقليدية وحديثة منفردة أو مجتمعة أو على التوازي وضمن إطار عمل شامل للاستفادة القصوى من تكامل الميزات القوية لكافة الأجهزة وحسر نقاط ضعفها حيث إن لكل تقنية أو جهاز نقاط ضعف وقوة. يوضح الشكل 8.9 بعض هذه الأجهزة كالتلفزيون والراديو العادي وراديو الهواة اليدوي (Amateur Radio) والراديو المتصل بالأقمار الصناعية (Satellite Radio) والتليفون الثابت والنقال، وأما التقنيات فتتمثل بإجراء التحادث المباشر بين فرق الإنقاذ في الموقع الميداني والسلطات المركزية في غرفة العمليات والنقل الحي بالصوت والصورة للحوادث وإجراء المعالجة الطبية عن بعد (Telemedicine) وتبادل المعلومات الطبية من موقع إلى آخر عبر شاشات الفيديو (Video Conferencing) وخدمات الرسائل القصيرة (Short Message Service) وشبكات البث الخلوية التي تعمل على عدة موجات ترادادية (Cell Broadcasting) والبريد الإلكتروني والإنترنت للمشاركة في المعلومات بين العامة والإدارة، والإنترنت

للمشاركة فقط بين وحدات عمل المنظومة المركزية. أيضاً توجد بعض البرامج كتحويل الوثائق (file transfer) إلى مراكز عمليات تخطيط التمويل والتزويد والموارد البشرية (access enterprise resource planning) في أثناء مراحل إدارة الكارثة.

توجد حالياً بعض المنظومات العملية للاستغاثة والطوارئ المباشرة على مستوى العالم والمبنية على أحدث التقنيات المتقدمة كالجمدس (Global Martime Disaster& Safety System،Gmdss) لتزويد نظام بحث وإنقاذ على مستوى عالمي باستخدام التقنيات المتقدمة للأقمار الصناعية ونظم الاتصالات السلكية واللاسلكية الثابتة والمحمولة وشبكات اتصال عالية كشبكات الترنك اللاسلكي (TETRA) والتردد العالي والمنخفض (HF, VHF, MF). تهدف هذه المنظومة إلى ضمان كفاءة وسائل الاتصال بتنظيم وتأمين عملية الاتصال بين محطات الاتصال الرئيسية بغرف العمليات المركزية في مراكز القيادة والمحطات الفرعية في مركز البحث والإنقاذ والاستغاثة في موقع الكارثة والتأكيد على وصول إشارة الاستغاثة في الزمن المحدد وكشف ثغرات التغطية لعمليات البث وأوجه القصور التي قد تظهر في أثناء العمل ومحاولة علاجها واختبار وقياس زمن وصول إشارات الاستغاثة واستقبال إشارات المساعدة الطبية من والى شبكات العلاج عن بعد باستخدام سيارات الإسعاف العاملة من خلال الأقمار الصناعية بالإضافة إلى الإسعاف الطائر. إن هذه الشبكات مزودة بخاصية البحث الذاتي عن أي إشارات استغاثة حيث يمكن لهذا النظام إظهار الموقع الجغرافي لمكان الاستغاثة على خرائط رقمية وشاشات عرض وبالتالي إقامة موارد جاهزة يمكن نشرها فوراً عقب وقوع الكوارث كنشر أنظمة عالية التقنية بهدف انتشارها في الميدان خلال الساعات الأولى من وقوع أي كارثة. لإنجاح عملية الاتصالات في إدارة الكوارث يجب تبني اتفاقية تامبير (Tampere Convention) العالمية الصادرة عن الأمم المتحدة الخاصة باستغلال موارد الاتصالات السلكية واللاسلكية للحد من الآثار المترتبة على الكوارث بأنواعها وإزالة الحواجز التنظيمية أمام نشر معدات الاتصالات عبر الحدود (كما حصل مؤخراً في التسونامي) وضع وقواعد وإجراءات لتسيير استعمال تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في كل مرحلة من مراحل إدارة الكارثة.



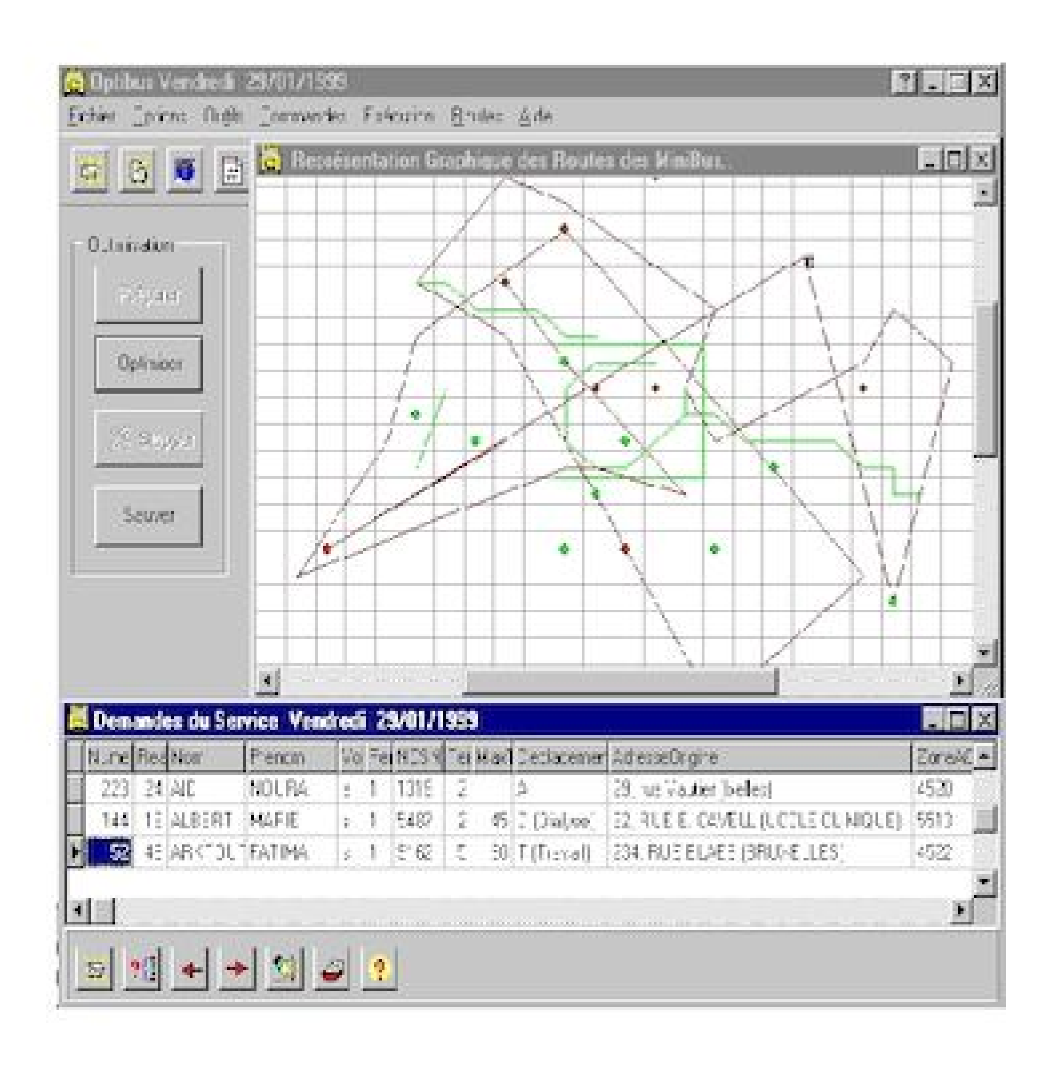
الشكل 8.9 نظم اتصالات نقل المعلومات ودورها الأساسي خلال مراحل إدارة كارثة الفيضان

6.9 التطبيقات المهمة لخوارزميات الذكاء الاصطناعي في الحياة العملية في دعم إدارة الكوارث

تعرض هذه الفقرة بعض التطبيقات العملية لمبادئ منظومة الإنذار المبكر كإيجاد الحل الأكثر مناسبة لنقل الناس ذوي الحاجات الخاصة (والمشابهة لنقل وإسعاف الناس عند حدوث كارثة ما)، وتصميم شبكة الإنذار عن الفيضانات في منطقة الفلاندر في بلجيكا وإجراء عمليات الإنذار والمراقبة والتحكم بتلوث المياه في أثناء مراحل إدارة كارثة الفيضان.

إن أحدث التطبيقات الحالية لمفاهيم ومبادئ هذه المنظومة يتم في تنظيم عمليات نقل الناس ذوي الحاجات الخاصة (Handicapped Person Transportation) من منازلهم إلى المشافي وإعادتهم ثانية إلى بيوتهم مع الأخذ بعين الاعتبار كافة العوامل المتغيرة والثابتة كالوضع الصحي لهؤلاء الناس ودرجة عجزهم المختلفة من شخص إلى أخر، وعدد حافلات النقل المتوفرة، والرحلات اليومية لكل حافلة، وعملية نقلهم جماعياً أو فردياً مع الوقت اللازم للانتظار وركوب الحافلات، وأماكن تجميع الحافلات وبعدها عن منازل الناس من جهة وعن المشافي من جهة أخرى، والوضع الراهن لشبكة الطرق وتنظيمها وساعات الازدحام، والتوزيع الجغرافي لمساكن الناس وبعدها عن المستشفيات، إلخ. تُعتبر هذه المشكلة من أكثر المشاكل المعقدة في علوم الإدارة والتنظيم والمبنية على المفهوم العام لمسائل التجميع والإمداد (Pickup And Delivery Problems) حيث إنه في هذه المسائل يتم تعيين عدد من وسائل النقل المخصصة لتوزيع مجموعة ما من الحمولات (بضائع، أشخاص، إلخ) من أماكن التواجد الأصلي (Origins) إلى أماكن متفرقة وباتجاهات متعددة (Destination)، لمزيد من المعلومات يرجى الرجوع إلى (Dethloff, 2001). فالهدف الرئيسي للتطبيقات المطورة في هذه الدراسة إيجاد خطة السير المثالية (Ideal Transportation Request) لنقل الناس جماعياً أو انفرادياً من منازلهم إلى المشافي وإعادتهم ثانية بأسرع وقت ممكن عبر الشوارع الأكثر مناسبةً وباستخدام أصغر عدد ممكن من وسائل النقل ووفق جدول زمني محدد ومعروف مسبقاً وضمن شروط مقيدة (Constraints) كأوقات النقل المحددة، وعدد الأشخاص الواجب نقلهم، والقدرة الاستيعابية لوسائل النقل، إلخ. تزداد صعوبة الحصول على خطة السير العملية مع ازدياد عدد الركاب ووسائل النقل المخصصة والتوزيع الجغرافي للمنازل والمشافي وكراجات تجمع وسائل النقل الذي يتحكم بكيفية استخدام وسائل النقل، فمثلاً مجموعة الناس التي تقطن متقاربة في نفس الحي السكني يتم نقلها بنفس السيارة بعكس الشخص الذي يقطن بعيداً عن المشفى فيتم تخصيص سيارة لنقله على شكل إفرادي وبالتالي من الصعوبة تنفيذ خطة السير بنفس السيارة ناهيك عن العوامل الجوية وازدحام السير وضيق الشوارع، إلخ. أيضاً تلعب درجة العجز والوضع الصحي للشخص المنقول عاملاً حرجاً في الحصول على خطة السير المثالية، فمثلاً الشخص

ذات درجة العجز الكبيرة يحتاج وقتاً أطول وعمال تمريض أكثر لمساعدته في ركوب السيارة والنزول منها وأحياناً كرسي خاص لنقله (wheel chair)، بعكس الشخص ذي درجة العجز الصغيرة الذي يحتاج وقت أقل لصعود وركوب الحافلة وبإمكانه خدمة نفسه بنفسه.



الشكل 9.9 البرنامج الحاسوبي (software) لنقل الناس ذوي الحاجات الخاصة في بروكسل

9.9. البرنامج الحاسوبي (OPTIBUS) وتأمين خطط النقل العملية

يتم حالياً استخدام هذا التطبيق فعلياً لحل مشكلة الازدحام في العاصمة البلجيكية بروكسل وضواحيها من قبل شركة النقل الداخلي (Inter-Communal Transport Company Of Brussels, S.T.I.B) وتأمين خطط النقل العملية باستخدام البرنامج الحاسوبي (OPTIBUS) كما هو موضح في الشكل 9.9. يُنتج هذا البرنامج (في كافة الأحوال العادية أو عند حدوث أي طارئ يغير من طبيعة المعطيات) كافة الخطط العملية لتسيير حافلات شركة النقل بكافة أنواعها وأحجامها وبشكل أتوماتيكي ومصور (visual) حيث تحتوي خطة عمل كل حافلة: 1) شكل ونوع الحافلة وسعتها وعدد خطط السير الواجب تنفيذها ضمن فترة زمنية محددة، 2) مجموعة المواقف (bus stops) التي يجب أن تمر عليها الحافلة بما فيها نقطة البداية والنهاية حيث يجب أن تعود الحافلة

إلى نفس الكراج الذي خرجت منه بعد تنفيذها كامل الخطة، 3) وأسماء الأشخاص والوقت الذي يناسبهم لنقلهم من منازلهم إلى المشفى وإعادتهم ثانية إلى منازلهم.

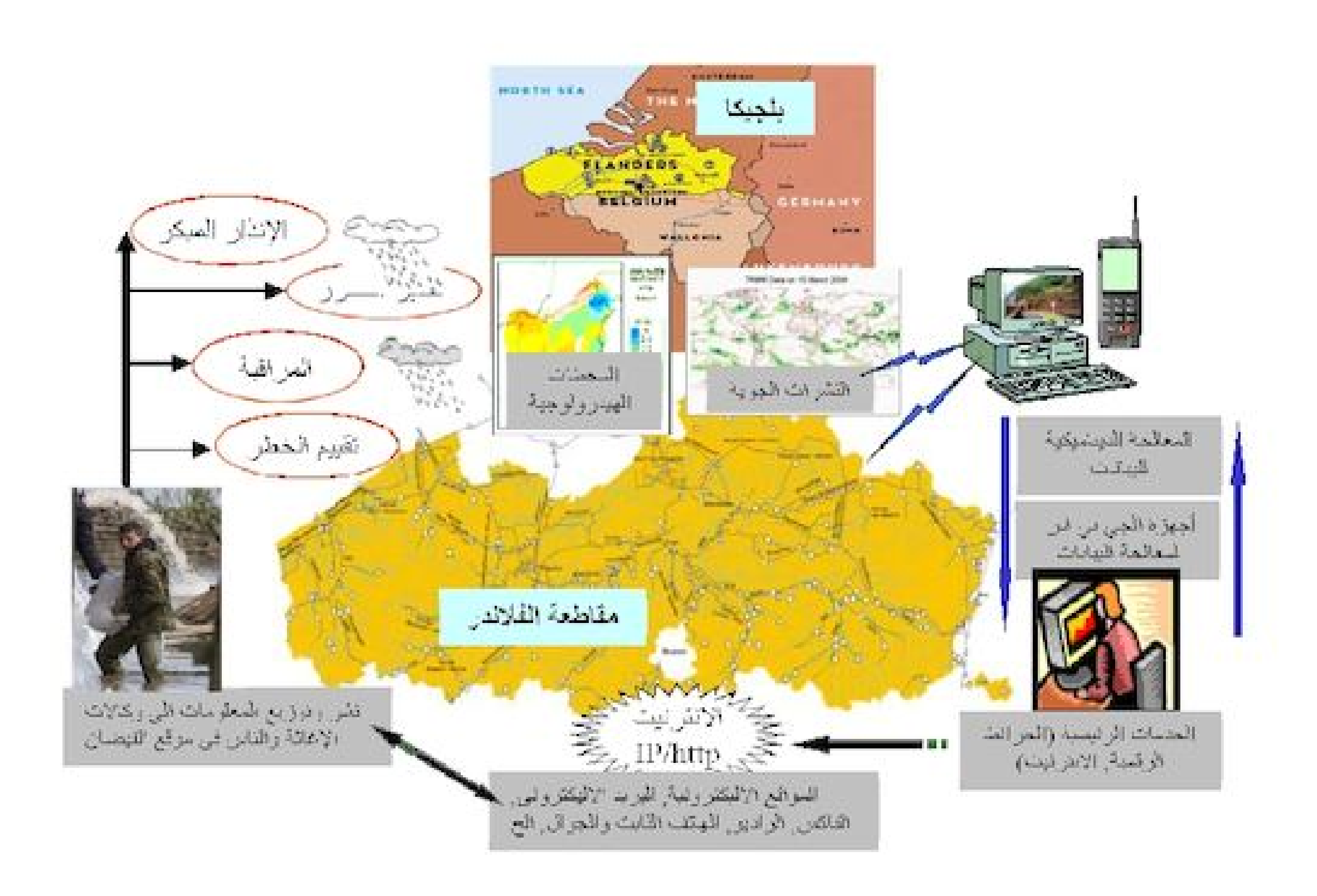
يتصل البرنامج الحاسوبي بقاعدة بيانات ضخمة تضم: 1) المعلومات الخاصة بالأشخاص كعنوان المسكن ووضعهم الصحي والأوقات التي تناسبهم والأدوات المستخدمة في عملية نقلهم (كالكرسي النقال) وعدد عمال التمريض للمساعدة في عملية النقل، 2) المعلومات الخاصة بعربات النقل وسعتها وأسماء السائقين وعناوينهم واسم وموقع كراجات تجميع الحافلات وأوقات المغادرة والعودة من والى الكراج، إلخ، 3) الخريطة الرقمية لكامل المنطقة الجغرافية لمدينة بروكسل وضواحيها مع كل التفاصيل والعناوين للأحياء والشوارع ومواقع الكراجات والمشافي، إلخ. إن النتائج الحاصلة من تطبيق هذا البرنامج أفضل بكثير من الطرق التقليدية المعمول سابقاً من قبل شركة النقل الداخلي في بروكسل وخاصة فيما يتعلق بجودة الخدمات وباختصار الجهد الحسابي لإيجاد الحل البديل في حدوث طارئ ما. تستغرق الطرق التقليدية عادةً لانجاز الجدول الرئيسي المتضمن كافة الخطط العملية لتسيير كامل الحافلات جهد يوم كامل لثلاثة مبرمجين على الأقل، في حين تم اختصار هذا الجهد الحاسوبي باستخدام البرنامج الديناميكي المطور في هذه الدراسة (والذي يستخدم الخوارزمية الجينية في معالجته للبيانات) إلى 45 دقيقة (وفي بعض الحالات أقل من ذلك تبعاً لحجم البيانات والمعطيات) بجهد عامل برمجة واحد وبدقة ومرونة متناهية.

إن تطبيق هذا البرنامج الديناميكي في نقل الناس ذوي الحاجات الخاصة في مدينة بروكسل يشبه إلى لشكل نسبي مشكلة نقل وإسعاف الناس في حالات الطوارئ والاستغاثة بعد وقوع الكارثة حيث إن درجة الإصابة والعجز مختلفة من شخص مصاب لأخر وموضعه الجغرافي والوصول إليه معقد وصعب ويخضع إلى تغيرات طارئة باستمرار وفقاً لتحولات الكارثة مع الزمن. بالإضافة إلى أن تدفق وتوزع المساعدات والإمدادات ووسائل الإسعاف ونقل الجرحى تكون مكثفة ومتشعبة ومختلفة مع الزمن من مكان إلى آخر وتتطلب الدقة والسرعة في التخطيط والتنفيذ على كافة المستويات ولكامل المنطقة الجغرافية الواقعة تحت التأثير الآني لتغيرات الكارثة. لقد تمت دراسة وتصميم عمل البرنامج الحاسوبي لمنظومة الإنذار في هذا البحث بحيث تأخذ بالحسبان كافة الأوضاع الحرجة للناس والممتلكات والسيناريوهات المتوقعة في أثناء

وبعد انتهاء الكارثة. أيضاً يساعد هذا البرنامج في تنظيم العمليات اللوجستية للطوارئ وتأمين أفضل الحلول الممكنة لإيصال ونقل الجرحى وتأمين كافة الإسعافات الأولية بأسرع وقت ممكن.

تصميم شبكة الإنذار عن الفيضانات في مقاطعة الفلاندر في بلجيكا

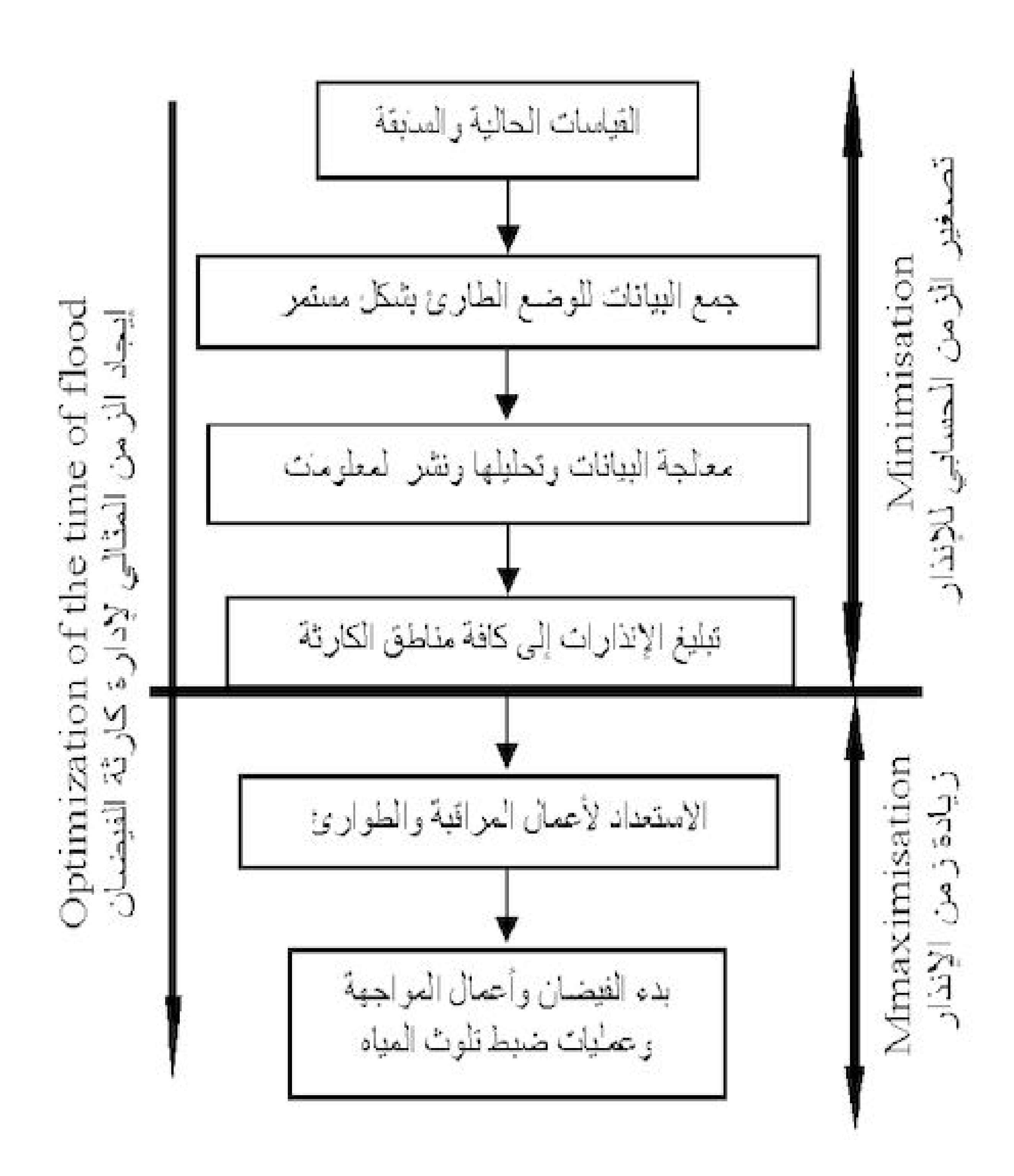
يوضح الشكل 10.9 تصميم شبكة الإنذار لمواجهة الفيضان ومراقبة تلوث المياه السطحية والجوفية المرافق للفيضان في الفلاندر(Flanders). تتألف الشبكة من محطات مراقبة موزعة على كامل المقاطعة لتأمين المعلومات الدقيقة والصحيحة باستمرار طيلة مراحل إدارة الفيضان. لضمان نظام مراقبة فعّال لشبكة الإنذار، يجب أن يتعامل النموذج الديناميكي للمنظومة مع جميع العوامل الثابتة والمتغيرة (Variable And Constent Parametres) التي تأخذ بالحسبان كافة المتطلبات العملياتية والتنظيمية المتعلقة بعوامل الكمية والنوعية لإدارة الفيضان وتنظيم وضع المياه السطحية والجوفية.



الشكل 10.9 شبكة المراقبة والإنذار عن الفيضانات في مقاطعة الفلاندر في بلجيكا

يتكون النموذج الديناميكي من عامل تحديد الحالة الحالية لجودة المياه (Water Quality Status) وعامل مراقبة تغيير معدلات جودة المياه (Violations Of The Water Quality Standards) التي تساعد في فهم تطور التغيرات المتتالية لوضع المياه على المدى القريب والبعيد ومن عوامل أخرى كمعرفة وكشف الأسباب التي تؤثر على تحولات جودة المياه وعامل نمذجة جودة المياه (Water Quality Modelling)

في دعم دارسة وتنظيم جودة المياه. يجب تشبيك هذه العوامل بانسجام متناسق ضمن توابع رياضية أو دالات هادفة (Objective Functions) تشمل كافة تحولات وتغيرات الفيضان وخطر التلوث البيئي الناتج عنه كما هو موضح في الشكل 11.9. إن المنظومة في هذا البحث طورت التركيبة العملية والهيكلية للنظام التقليدي (Fhr-Risk Model Programme) لمراقبة الفيضان في الفلاندر وزادت من فعاليته في تحسين معالجة البيانات ديناميكياً وزيادة وقت الإنذار. تتمثل بعض نقاط الضعف في: استخدام شبكة طبوغرافية بتربيعات صغيرة وهذا يزيد زمن معالجة البيانات، التكرار المتشابه (Doubles Of Calculations) للعمليات الحسابية في بعض التوابع العملياتية وهذا يُبطئ عمل البرنامج ويقلل من فعاليته، لاتوجد مخرجات كافية للمعلومات (Output Information) مع وجود الشك في قيم النتائج الحاصلة (Uncertainty Around The Result)، والمعرفة غير الكاملة لمدى انتشار الأخطاء والأغلاط (Propagation Of Input Errors) في هذه النتائج.



الشكل 11.9 النموذج الديناميكي لعمل شبكة المراقبة وإدارة الفيضان

تم تصميم النموذج الديناميكي للمنظومة لاستدراك وتفادي نقاط الضعف السابقة من خلال إدارة البيانات المرجعية ذات الأبعاد الثلاثية (Spatially Referenced Data) بوساطة تقنيات وأدوات متقدمة كبرامج المحاكاة والنمذجة (Computer Simulation And Modelling)، والتبصر الشكلي أو الغرافي (Graphical Visualisation)، والخوارزميات الميتاهيروستيكية، إلخ. يتم دمج وتشبيك هذه الأدوات والتقنيات بشكل متكامل ومتناسق ضمن جميع مراحل عمل النموذج الديناميكي مع الأخذ بالحسبان تحقيق: 1) التخطيط البيئي والمكاني وتنظيم سياسة استخدام الأرض (Spatial And Environmental Planning And Land-Use Regulation) (كالإعلان عن مناطق خطر الفيضان والتطور العمراني محلياً وإقليمياً)، 2) إدارة وتنظيم المياه (Water Management) (كتحديد مناطق الفيضان وتشكيل خطط مواجهته وأساليب التحكم بالتلوث)، 3) وإدارة الخطر (Risk Management) (كالتنبؤ عن الفيضان وتنظيم خرائط التعرض لخطره وتطبيق الإنذار المبكر (Flood Hazard And Vulnerability Maps)), 4) المرونة المناسبة في التعامل مع البيانات الثابتة والمتغيرة (Continuous And Discrete Parameters) وبالتالي إنتاج السيناريوهات المتنوعة التي تعكس آنياً وباستمرار (continuous and real time) الوضع الحقيقي والتمثيل الفراغي لشكل الفيضان والخطر المتوقع علماً أن الطرق التقليدية بوضعها الحالي تفتقر وتنقصها القدرة على ذلك.

تبين النتائج الحاصلة إمكانية تصميم الشبكات الجيوماتيكية مع التقنيات المتقدمة في منظومة عمل متكاملة وتطبيقها في إدارة الكوارث في جميع البلاد العربية والعالمية. ففي سورية والبلاد المجاورة يتم حالياً دراسة تطبيق ووضع المنهجية العملية لمعالجة بيانات الخرائط التكتونية والمعطيات الزلزالية (كنشاط الفوالق والتحركات الأرضية وتحديد سلوكها وتوقع حدوث الزلازل الكبيرة ومدى تأثيرها على السكان والمنشآت، إلخ). تؤمن هذه المنهجية المرونة المناسبة لمعالجة الحجم الهائل للبيانات المجمعة بشكل سريع واقتصادي ومن ثم إيجاد الحلول العملية لمعالجة تأثيرات هذه الفوالق من خلال الحصول السريع على جميع المعلومات المتعلقة بمنطقة الدراسة عن طريق جمع البيانات اللازمة (كالزلزالية، والتكتونية، والجيولوجية، إلخ) في قاعدة بيانات أساسية ومن ثم تطبيق طرق التحليل المتقدمة التي تقود إلى المساهمة العميقة في فهم الوضع التكتوني الإقليمي الذي يساعد في توضيح النطاقات الزلزالية وتحديد

قيم تنبؤ النشاط الجيوديناميكي لمناطق الفوالق النشطة والصدوع الموزعة على المنطقة المدروسة وتحديد العلاقة الدقيقة بين درجة الاهتزاز الأرضي وحجم الزلزال المتوقع والأضرار الناجمة. أيضاً تساعد هذه المنهجية في تأمين الدعم الفعال لاتخاذ القرار في اختيار المواقع المناسبة لإقامة المواقع الحيوية والمشاريع الإستراتيجية كالسدود ومحطات توليد الطاقة، إلخ. يمكن تعميم هذه المنهجية بنجاح لتشمل منطقة فالق الانهدام العربي والفوالق الأخرى في الوطن العربي وهذا يدعم المساهمة الفعالة لتحقيق النظام المتكامل الذي يقود إلى تخفيف أضرار وخطر الكوارث المختلفة التي تتعرض لها بلادنا العربية كالزلازل والفيضانات وغيرها. أيضاً تم تطبيق هذه الدراسة في تصميم شبكة مراقبة وإنذار لإدارة المياه وضبط تلوثها في فلسطين (Saleh And Allaert، 2007). وعلى المستوى الأوروبي يتم حالياً تصميم ودراسة المنهجية المتكاملة لمنظومة الإنذار المبكر للكوارث البيئية والطبيعية في حوض الدانوب التي تغطي معظم الدول الأوروبية حيث إن نهر الدانوب الذي يعبر أكثر من 17 دولة في الاتحاد الأوروبي وخارجه معرض لكثير من الكوارث المتنوعة كالفيضانات والتلوث البيئي وحرائق الغابات،

7.9 الاستنتاج

تُعد النظم الجيومعلوماتية الأكثر دقة بتكنولوجيتها المتطورة والمتقدمة جداً في مختلف المجالات العلمية والعملية وبالأخص في تنفيذ الشبكات الجيوماتيكية الضخمة بدقة متناهية وسرعة فائقة. إن كلفة استخدام هذه النظم باهظة وتزداد طرداً تبعاً لحجم وشكل الشبكة المراد تصميمها وهذا يستلزم إيجاد الطرق العملية والاقتصادية لاستخدام هذه النظم بشكل فعَّال. يُعتبر تطبيق لنمذجة خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تصميم الشبكات الجيوماتيكية الداعمة لعمليات التنمية المستديمة وإدارة الكوارث في هذا الكتاب عملاً علمياً فريداً من نوعه في جميع مجالات الهندسة الجيوماتيكية والبحث العملياتي والذكاء الاصطناعي وإدارة الكوارث وغيرها من العلوم الأخرى.



منظمة المجتمع العلمي العربي
Arab Scientific Community Organization

المراجع

المراجع العربية

المدهري، عبدلله بن فرحان، (2008)، التوزيع الاحتمالي للكوارث والتنبؤ بزمن حدوثها. في ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، منشورات وزارة الشؤون البلدية والقروية، الرياض، 28 آذار- 2 نيسان، ص 583-571.

بالخير، خالد بن سعيد، (2008)، نمذجة تدفق المياه السطحية للتنبؤ بحدوث سيول مدمرة وتصميم نظام إنذار مبكر لإدارة الطوارئ. في ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، منشورات وزارة الشؤون البلدية والقروية، الرياض، 28 آذار- 2 نيسان، ص 465-451.

مراياتي، محمد، (2006)، أهمية الاستثمار في العلوم والتقنية للتوجه نحو الاقتصاد الجديد في الدول العربية. في المؤتمر الرابع حول آفاق البحث العلمي والتطوير التكنولوجي في الوطن العربي، دمشق، 14 - 11 كانون الأول، ص 708-710.

صالح، حسين عزيز، (2008)، التصميم المثالي للشبكات الجيوماتيكية الداعمة لمنظومة الإنذار المبكر للكوارث البيئية والطبيعية، في ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، منشورات وزارة الشؤون البلدية والقروية، الرياض، 28 آذار- 2 نيسان، ص 569-555.

رقية، محمد وصالح، حسين عزيز، (2008)، استخدام الجيومعلوماتية في

وضع المنهجية العملية لمعالجة بيانات الخرائط التكتونية والمعطيات الزلزالية (حالة دراسية على فالق الانهدام العربي)، في ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، منشورات وزارة الشؤون البلدية والقروية، الرياض، 28 آذار- 2 نيسان، ص 539-553.

المراجع الأجنبية

Aarts, E. H. L., Korst, J., 1988. Simulated annealing and bolltzmann machines. John Wiley and Sons, Chichester. UK.

Al-Amri, A., 1994. Seismicity of the south-western Arabian Shield and southern Red Sea. Journal of African Earth Science, 19 (1/2), 17-25.

Dare, P. (2001), "Seychelles Densification Project'98: The Densification of a Control Network for the Republic of Seychelles by use of the Global Positioning System", Report for Lands and Survey Division, Ministry of Land Use and Habitat, Victoria, Seychelles.

Dare, P. (1994), "Project Malta' 93: The Establishment of a New Primary Network for the Republic of Malta by use of the Global Positioning System". Report for Mapping Unit, Planning Directorate, Floriana, Malta.

Deb, K., 2001. Multiobjective optimisation & evolutionary algorithms. Wily-Sons, UK.

Dethloff, J., 2001. Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup. OR Spectrum (23), 79-96.

Dorigo, M. (1992), "Optimization, learning and natural algorithms", PhD thesis, Dipartimento di Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano, Italy.

Dorigo, M., Di Caro, G., Gambardella., L., 1999. Ant algorithms for discrete optimization. Artificial Life, (5), 137-172.

Glover, F., Laguna, M., 1997. Tabu search. Kluwer Academic Publisher, USA.

Kellens, W, Deckers, P., Saleh, H., Vanneuville, W., De Maeyer, Ph., Allaert, G., and De Sutter, R, 2008, A GIS tool for Flood Risk Analysis in Flanders (Belgium). In the proceedings of the 6th International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation: "Risk 2008". Cephalonia, Greece 5th – 7th, May, WIT Press, UK, pp: 21-27.

Leick A., 1995. GPS Satellite Surveying. Wiley & Sons, New Your

Osman, I., and Kelly, J., (editors), 1992. Meta-heuristic: An overview. In: meta-heuristics: theory and applications. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Peng, G., Leslie, L., Shao, Y., 2002. Environmental modelling and prediction. NY, Springer-Verlag.

Renders, M., Flasse, P., 1996. Hybrid method using genetic algorithms for the global optimization, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 26, 243-258.

Rekiek, B., Delchambre, A. and Saleh, H, (2006), "Handicapped Person Transportation: An application of the Grouping Genetic Algorithm", Journal of the Engineering Applications of Artificial Intelligence. (19):511-520.

Saleh, H., Allaert, G., De Sutter, R., Kellens, W., De Maeyer, Ph., Vanneuville, W., 2008. Intelligent decision support system based geo-information technology and spatial planning for sustainable water management in Flanders. In: Feyen J, Shannon K, Neville M, (Ed), Water and urban development paradigms. CRC Press, Taylor & Francis Group, London, pp 283-288.



الفهرس

تقنيات الذكاء الاصطناعي والجيومعلوماتية لإدارة وتخفيف خطر الكوارث



من الواضح أن المشكلة الأبرز التي تواجه العالم اليوم هي كيفية التخفيف من تأثيرات الكوارث الطبيعية والتي هي من صنع الإنسان. إن تأثيرات هذه الكوارث الاجتماعية والاقتصادية والنفسية والديموغرافية عميقة على الأفراد والمجتمعات المنكوبة، وأن عدم الإلمام بخصائص هذه الكوارث وأسبابها من الأمور التي تتسبب في تفاقم هذه التأثيرات السلبية واتساع رقعتها وأبعادها التدميرية. تستطيع الخوارزميات المبنية على مبادئ ومفاهيم الذكاء الاصطناعي إيجاد الحلول المثالية التي تؤمن الدارسة التحليلية العلمية والعملية لأسباب وتحولات هذه الكوارث قبل وخلال وبعد وقوعها بغية فهم تأثيرها وأبعادها وكيفية التجاوب بشكل أفضل مع تأثيراتها الجسيمة.

تُعد هذه الخوارزميات الأكثر استخداما في إيجاد الحلول المثالية لمشكلات متعددة في مجالات متنوعة وواسعة في الحياة العملية كعلوم الإدارة والإحصاء والتخطيط والهندسة والمعلوماتية، إلخ. تتصف هذه الخوارزميات بقدرتها على ابتداع طرق ديناميكية ملائمة لطبيعة المسألة المراد دراستها وتحديد الصيغة العملية لإيجاد الحل الأكثر مناسبة من بين مجموعة الحلول الممكنة ومن ثم تحسين قيمة هذا الحل إلى أقصى حدود الإمكانية.

ISBN 978-0-9935464-1-9



دار الربان للنشر RABBAN Publishing Ltd.